

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## DESIGN 3D TISKÁRNY

DESIGN OF 3D PRINTER

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Chrástek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

BRNO 2017



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování  
Student: **Bc. Jan Chrástek**  
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství  
Studijní obor: Průmyslový design ve strojírenství  
Vedoucí práce: **doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Design 3D tiskárny

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vizuální zpracování většiny současných stereolitografických 3D tiskáren sleduje především funkční požadavky a vykazuje jistou vzájemnou uniformitu. Důraz na originalitu a nekonvenční pohled na řešenou problematiku ukáže nové možnosti vývoje designu těchto zařízení v blízké budoucnosti.

Typ práce: vývojová - designérská  
Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

### Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem je navrhnout působivý, vizuálně i ergonomicky vyvážený a řešenému tématu adekvátní design stereolitografické 3D tiskárny s nadstandardním pracovním objemem a pohodlnou i bezpečnou obsluhou.

Dílčí cíle diplomové práce:

- analyzovat současnou produkci stereolitografických 3D tiskáren, identifikovat silné a slabé stránky,
- navrhnout originální a esteticky působivé designérské řešení,
- realizovat prostorový model,
- prokázat zohlednění funkčních a ergonomických parametrů.

Požadované výstupy: funkční vzorek, průvodní zpráva, sumarizační poster, technický poster, ergonomický poster, designérský poster, fotografie modelu, fyzický model.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 - 50 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

[http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP\\_DP/Zasady\\_VSKP\\_2017.pdf](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2017.pdf)

**Seznam doporučené literatury:**

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

LIDWELL, William a Gerry MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

NORMAN, Donald A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

THOMPSON, Rob a Young Yun KIM. Product and furniture design. New York: Thames & Hudson, 2011. Manufacturing guides. ISBN 0500289190.

TICHÁ, Jana a Jan KAPLICKÝ. Future systems. Vyd. 1. Praha: Zlatý řez, 2002. ISBN 80-901562-6-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

---

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na design stereolitografické 3D tiskárny za použití nových technologií za účelem zvětšení pracovní plochy a snadného a pohodlného ovládání. Největší součástí práce je zaměření na tvarovou a estetickou stránku věci s ohledem na funkční, bezpečnostní, ergonomické a technické nároky, které by tento produkt měl splňovat.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Design, 3D tisk, stereolitografie, rapid prototyping, 3D technologie, koncept

## **ABSTRACT**

Diploma thesis is focused on design of stereolithography 3D printer, which includes new technology and innovations to achieve larger workspace and easy and comfortable manipulation. Great part of thesis is focused on shaping and aesthetic effect with respect of functional, safety, ergonomic and technical claims.

## **KEYWORDS**

Design, 3D print, stereolithography, rapid prototyping, 3D technology, concept

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CHRÁSTEK, J. Design 3D tiskárny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 65 s. Vedoucí diplomové práce doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD..



## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI**

---

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zaměřenou na design stereolitografické 3D tiskárny zpracoval a vypracoval samostatně s využitím knižních a elektronických zdrojů, které jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury na konci této diplomové práce.

V Brně

Podpis autora





## **PODĚKOVÁNÍ**

---

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce doc. akad. soch. Ladislavu Křenkovi, ArtD. za jeho rady, připomínky a kritiku, kterou mi poskytl při v průběhu navrhování a usměrnil mé nápady k finálnímu návrhu. Dále bych rád poděkoval svým nejbližším a přátelům za jejich podporu.



## OBSAH

<b>ABSTRAKT</b>	<b>5</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>KEYWORDS</b>	<b>5</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE</b>	<b>5</b>
<b>PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI</b>	<b>7</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ</b>	<b>9</b>
<b>OBSAH</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>14</b>
2.1 Designérská analýza	14
2.1.1 Historický vývoj 3D tisku	14
2.1.2 Form 2	15
2.1.3 MonoFab ARM 10	15
2.1.4 Carbon M1	17
2.1.5 PROJET 7000 HD	18
2.1.6 Autodesk EMBER	19
2.2 Technická analýza	19
2.2.1 DLP projektor, laser, CLIP	21
2.2.2 Podkladová deska a pojezdový systém	23
2.2.3 UV polymery, materiálová nádoba a zásobník	24
2.2.4 Rám a kryt stroje	25
2.2.5 Ovládání, napájení a konektivita	25
2.2.6 Příprava dat pro stereolitografii	26
<b>3 ANALÝZA PROBLÉMŮ A CÍLE PRÁCE</b>	<b>27</b>
3.1 Analýza problému	27
3.2 Cíl diplomové práce	27
<b>4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU</b>	<b>28</b>
4.1 Varianta I	29
4.2 Varianta II	30
4.3 Varianta III	31
<b>5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>32</b>
5.1 Vnější rám	32
5.2 Servisní přístup	33
5.3 Pracovní prostor a ochranný kryt	33
5.4 Kryt DLP projektoru a elektroniky	34
<b>6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>35</b>
6.1 Konstrukční řešení	35
6.1.1 Rozmístění vnitřních částí	36
6.1.2 Rámová konstrukce	36
6.1.3 Digital Light Processing projektor a pracovní prostor	37
6.1.4 Elektronika a konektivita	37
6.1.5 Lineární polohovací systém (LPS) a konzole	38
6.1.6 Head-Up displej (HUD), ochranný kryt a ovládací prvky	39
6.1.7 Zásobník polymeru a čerpadlo	40

---

6.2	Ergonomie 3D tiskárny	41
6.2.1	ochranný kryt a poloha displeje	41
6.2.2	Ovládací tlačítka	42
6.2.3	Demontáž vytištěného modelu	42
6.2.4	Servisní přístupy	43
<b>7</b>	<b>BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>44</b>
7.1	Barevné řešení produktu	44
7.2	Grafické řešení	45
7.2.1	Piktogramy manuálních tlačítek	45
7.2.2	Grafika průhledového displeje.	46
<b>8</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>50</b>
8.1	Psychologická studie	50
8.1.1	Celkový pohled	50
8.1.2	Působení barev a materiálů	50
8.2	Marketingová studie	50
8.2.1	Analýza trhů	50
8.2.2	Analýza a výběr cílových trhů	52
8.2.3	Marketingová strategie	53
8.2.4	SWOT analýza	53
8.3	Sociální studie	54
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>60</b>
	<b>FOTOGRAFIE MODELU</b>	<b>61</b>
	<b>NÁVRH SUMARIZAČNÍHO POSTERU</b>	<b>62</b>
	<b>NÁVRH TECHNICKÉHO POSTERU</b>	<b>63</b>
	<b>NÁVRH ERGONOMICKÉHO POSTERU</b>	<b>64</b>
	<b>NÁVRH DESIGNÉRSKÉHO POSTERU</b>	<b>65</b>

## 1 ÚVOD

---

**1**

V dnešní společnosti se 3D tiskárny stále více rozvíjí a tvoří nedílnou součást výrobního procesu od velkých výrobních společností po soukromé hobby kutily nevyjímaje. Této technologii využívají například designéři k výrobě prototypů, umělci k výrobě originálních šperků či soch. Vědci a lékaři vyvíjejí technologii, která by dokázala reprodukovat lidské orgány a umožnila by tak pacientům transplantaci životně důležitých orgánů. Ve světě vznikají i centra, která umožňují přístup k vlastním 3D tiskárnám pro širokou veřejnost a vytvořit trojrozměrný objekt tak může kdokoli, kdo má patřičné znalosti v modelovacím softwaru a chuť vytvářet. S 3D tiskem pracuje i americká vesmírná agentura NASA, která dokázala tisknout 3D objekty ve vesmíru na oběžné dráze. Některé futuristické koncepty počítají s 3D tiskem při budování základů a následné kolonizaci na Měsíci, Marsu a jiných planetách.

Technologie 3D tisku je aditivní proces výroby prototypů (3D modelů) využitím různých principů. Obecně se tyto metody označují názvem Rapid Prototyping (RP) a mezi ty nejznámější patří stereolitografie (SLA), Fused Depositing Modeling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS) a jiné. Jednotlivé metody jsou v práci blíže představeny.

V této práci je podrobně popsán princip stereolitografie, její výhody a nevýhody a současné produkty na trhu. Dále je zde představena vize, jakou by se dále mohl design těchto výrobků dále ubírat po technické nebo estetické stránce s využitím nejnovějších technologií a metod.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Před samotným navrhováním je důležité vytvořit rešerši, která má za cíl pochopit, jak produkt funguje, jaké jsou jeho technické a funkční hranice a určit směrodatné parametry pro vlastní design. Součástí je i rozbor designu a ergonomie jednotlivých strojů předních výrobců, který může sloužit k inspiraci nebo naopak.

### 2.1 Designérská analýza

Nejstarší metodou 3D tisku je stereolitografie, proto je její vývoj na vysoké úrovni a v současné době je na trhu mnoho výrobců SLA tiskáren. Velkou část z nich jsou produkty určené pro osobní použití, které nejsou vhodné pro tisk v průmyslové výrobě. Jedná se o malé stolní 3D tiskárny využívané především pro tisk malých součástí nebo vývoj nových produktů či prototypů s menšími nároky na kvalitu a přesnost. Velkoformátový trojrozměrný tisk je velmi vzácný a je dělán na zakázku pro svou technologickou a ekonomickou náročnost.

#### 2.1.1 Historický vývoj 3D tisku

Počátky 3D tisku se datují od 80. let 20. století, kdy vznikl první patent na technologii Rapid Prototypingu a připisuje si jej japonský konstruktér Hideo Kodama. Ten v roce 1981 představil systém pracující s fotopolymery a využíval k jejich vytvrzování paprsky UV záření. O 3 roky později vznikla technologie zvaná stereolitografie (SLA) díky Charlesi Hullovi. SLA je technologie, která pomocí laseru vytvrzuje jednotlivé vrstvy fotopolymerů, které na sebe následně nanáší a vytváří tak trojrozměrný objekt. Prvním zařízením fungujícím na principu stereolitografie byl stroj SLA-1, který byl představen až v roce 1987. V roce 1992 společnost Stratasys představila princip Fused Depositing Modeling (FDM) využívající nataveného plastového vlákna k vrstvení materiálu. V 90. letech 20. století vznikla spousta společností, které se podílely na zdokonalování 3D tisku jak jej známe dnes, např. Arcam, ZCorporation a mnoho dalších. V roce 2002 byla vytisknuta společností Wake Forest University School of Medicine ledvina, která filtrovala krev. Nebyla však plně funkční pro možnou transplantaci pro člověka. V roce 2004 byla představena první Open-source tiskárna RepRap, jejíž dokumentace je volně ke stažení na internetu a může si ji postavit každý na vlastní náklady, nebo ji dále upravovat podle svých požadavků. [1, 2, 3]



Obr. 2-1 SLA-1 - první stereolitografická 3D tiskárna [4]

### 2.1.2 Form 2

Prvním ze zástupců SLA tiskáren je menší stolní 3D tiskárna Form 2 pro domácí použití od společnosti FormLabs. I přes malou velikost umožňuje tisknout produkty o velikosti 145×145×175 mm. Form 2 pracuje na principu stereolitografie s využitím 250mW laseru a dosahuje velmi přesného rozlišení modelu. Tloušťka jednotlivých vrstev se pohybuje od 25 do 100  $\mu\text{m}$ . Důležitou součástí je i mechanický stěrač, který z povrchu polymeru odstraní přebytečné zatvrdlé části tisku a zároveň hladinu polymeru pro další vrstvu. Díky vyhřívané nádobě na 35 °C je polymer vždy připraven k okamžitému tisku. Pro větší modely má Form 2 zásobník na materiál a nemusí se tak během procesu ručně doplňovat nový. Tiskárna je vybavena dotykovým displejem pro snadné ovládání a kontrolu tisku doplněnou o několik funkčních tlačítek. Cena základní verze je 3 299 \$. [5]

Po estetické stránce hodnotím výrobek na velmi dobré úrovni. Jeho geometrické tvarování efektivně využívá prostor pro uschování důležitých částí a ochranu provozu. Použité materiály a jejich barevná kombinace se vzájemně doplňují a podtrhují celý design. Z ergonomického hlediska je tiskárna k uživateli intuitivní a uživatel si rychle osvojí snadnou manipulaci se zařízením. Při dokončení tisku se bezpečnostní kryt odklopí směrem dozadu a uživatel musí produkt odloupnout z podkladové desky. Celý design tiskárny je jednoduchý až minimalistický, s velmi kvalitním kovovým provedením. Bezpečnostní kryt slouží jako ochrana před UV zářením a manipulaci ve stroji během tisku.



Obr. 2-2 3D tiskárna Form 2 [6]

### 2.1.3 MonoFab ARM 10

Další stolní stereolitografickou tiskárnou je zařízení od společnosti Roland. Ta má oproti Form 2 menší pracovní plochu – jen 130×70×70 mm. Na rozdíl od ní využívá DLP (Digital Light Processing) projektoru místo laseru. Tento systém využívá elektronickou závěrku, která propouští UV záření emitované speciálními LED diodami. Světelné

záření dopadá na UV polymer, který se postupně vytvrzuje. Rozlišení této tiskárny je 0,2 mm v rovině XY a tloušťka vrstvy činí 10  $\mu\text{m}$ . Provozní teplota při tisku je 20-30 °C, hluk udávaný výrobcem nepřesahuje 55 dB. Tiskárna nemá žádný automatický zásobník na polymer a může ho tak během jednoho tisku použít maximálně 300 g. Ovládání tiskárny je realizováno počítačovým softwarem skrze USB konektor a připojení k počítači. Cenu výrobce neuvádí. [7]

Z estetického pohledu je tiskárna zajímavě tvarována a svým zevnějškem připomíná stolní průmyslový CNC stroj používaný k obrábění či tváření. Mezi použitými materiály jsou i plastové hmoty, které tvoří hlavní část krytování. Ergonomie tiskárny zaostává za prvním produktem z důvodu obtížnějšího přístupu k vytisknutému modelu. K němu se uživatel dostane pouze zepředu po odklopení krytu a omezují ho postranní plastové výztuže. Další nevýhodou je absence zásobníku na materiál, což uživatele nutí hlídat si množství polymeru potřebného k tisku. Za největší nevýhodu považují v nepřítomnosti vlastního ovládání tiskárny a displeje. MonoFab je tedy možné použít jen s počítačem, do kterého je nahrán speciální software.



Obr. 2-3 MonoFab ARM 10 [8]



### 2.1.4 Carbon M1

Jednou z těch větších tiskáren na trhu je Carbon M1. Její celkové rozměry jsou 540×654×1734 mm. Carbon M1 nabízí pracovní plochu 79×141 mm, což je standartní u stolních 3D tiskáren, oproti těm však dokáže tisknout do výšky až 326 mm. Díky vestavěnému Wi-Fi modulu není nutné připojovat počítač pomocí kabelů, stačí stroj připojit k elektrické síti. Výrobce udává velice kvalitní rozlišení a povrch modelů díky fotochemickému procesu zvaném CLIP (Continuous Liquid Interface Production). Tento princip se dá použít s mnoha typy materiálů a není tak potřeba pro tisk kupovat jeden speciální. Kompatibilní materiály jsou například RPU (rigid polyurethane), EPU (elastomeric polyurethane), CE (cyanate ester) a další. Cena tiskárny a její provoz je výrobcem odhadován na 40 000 \$ ročně. [9, 10]

Vzhled tiskárny je elegantní, jednoduchý. Na první dojem působí M1 jako laboratorní zařízení, avšak při pohledu na pracovní plochu je dobře patrné, že se jedná o stereolitografické zařízení. Dominantní částí stroje je průhledný kryt, který odhaluje celý proces tisku. Tiskárna díky své výšce a tvaru nabízí dobrý přístup k tvořenému modelu. Válcový ochranný kryt nabízí snadnou kontrolu během operace a snadný přístup k hotovému výrobku než předchozí zmíněné stolní 3D tiskárny. Ovládací prvky a informační displej jsou umístěny hned pod krytem v pohodlné dostupnosti pro stojící obsluhu.



Obr. 2-4 Carbon M1 [11]

### 2.1.5 PROJET 7000 HD

Další 3D tiskárna nabízí jednu z největších tiskových ploch na trhu. Její rozměry jsou 380 mm na délku i šířku a 250 mm na výšku. S velikostí pracovní plochy rostou i nároky na celkový prostor. Rozměry zařízení jsou 1860×982×2070 milimetrů. Tiskárna nabízí tři volitelná rozlišení tisku - HD s tloušťkou tisku 125  $\mu\text{m}$ , UHD s rozlišením 100  $\mu\text{m}$  na vrstvu a nejkvalitnější XHD s přesností 50  $\mu\text{m}$  na vrstvu. Rozlišení tisku v rovině XY výrobce neudává. S větším pracovním objemem se zvětšuje množství potřebného materiálu, proto je zásobník na UV polymer mnohem větší než u předchozích zástupců a vměstná se do něj 2 litry tekutého materiálu. Projet 7000 HD dokáže tisknout z mnoha materiálů a dá se tak použít například v automobilovém, leteckém nebo lékařském průmyslu. Provozní teplota při tisku se pohybuje v rozmezí od 18 do 28 °C. [12]

Svou velikostí se tiskárna řadí mezi jedny z největších a také nejkvalitnějších na trhu. Design celého stroje charakterizuje zakřivená čelní plocha, která celý tvar oživuje, zbytek stroje je tvarován jednoduše, funkčně. Na pohled tak tiskárna působí jednoduše, stabilně a bytelně. Jednoduchý průmyslový vzhled tak dohání kvalitním technickým zpracováním a kvalitou tisku. Pracovní plocha je umístěna v ideální pracovní výšce stojícího člověka a nabízí tak ergonomicky správný přístup do tiskárny. Bezpečnostní kryt je dostatečně velký a průhledný pro snadnou kontrolu procesu.

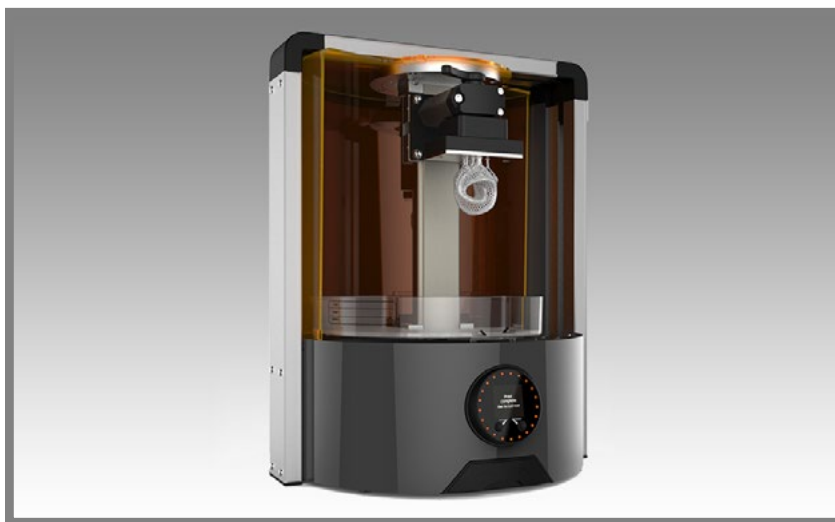


Obr. 2-5 Projet 7000 HD [13]

### 2.1.6 Autodesk EMBER

Stereolitografická 3D tiskárna EMBER je open-source projekt od společnosti Autodesk. Díky otevřenosti se projekt stále vyvíjí, vylepšuje a nové poznatky může přidat takřka kdokoli, kdo má vzdělání nebo zkušenosti v oboru. Uživatel si tak může prohlédnout z čeho se 3D tiskárna skládá a na jakém principu funguje. Jedná se o malou stolní tiskárnu s pracovním prostorem 64×40 mm a 134 mm na výšku. Celkové rozměry tiskárny činí 325×340×434 mm. Princip tisku využívá technologie DLP projektoru o rozlišení 912×1140 pixelů, tloušťka vrstvy je 50 μm v rovině XY a 10-100 μm v ose Z. Materiál vhodný pro tisk vyrábí přímo Autodesk a je možné si vybrat z mnoha barevných odstínů, průhledný a černý polymer nevyjímaje. Autodesk dokonce nabízí možnost výroby vlastní barvy materiálu při určení barvy ve CMYK formátu. Tiskárna podporuje i další materiály, které jsou k dispozici na trhu. Provozní teplota je obdobná jako u ostatních produktů, tedy v rozmezí 18-28 °C. [14, 15]

Po designérské stránce je tiskárna velmi elegantní a zajímavě řešena. Dominantní je přední válcový kryt. Dalším důležitým prvkem je přední displej, který zobrazuje aktuální informace a nastavení. Od konkurence se odlišuje především tvarováním a veřejně přístupným a upravitelným principem. Manipulace se zařízením je velmi snadná díky přednímu displeji s ovládacími prvky. Nevýhodou je však jeho malá velikost, a tedy i malý text zobrazovaných informací. Přední kryt lze otočit o téměř 180° a díky tomu je přístup k modelu pohodlný, navíc tiskárna nabízí velký prostor i uvnitř. Manipulace s modelem je opravdu snadná. Doplnění materiálu do nádoby na polymer se provádí také snadno díky prodlouženému tvaru do boku a není tedy potřeba doplňovat polymer přímo pod podkladovou desku do nádoby.



Obr. 2-6 Autodesk Ember [15]

## 2.2 Technická analýza

3D tisk je aditivní proces, který funguje na principu nanášení velmi tenkých vrstev na sebe a tím vytváří trojrozměrný model. Pomocí 3D tisku lze vytvořit velice komplexní tvary a konstrukce, které jsou pomocí klasického třískového obrábění velmi náročné nebo nevyrobitelné. Materiály použité k tisku jsou převážně z plastových sloučenin,

ale některé metody využívají laserového paprsku ke spékání jemného kovového prášku do vrstev a následně i do výsledného tvaru (SLS), nebo materiály na bázi kukuřičného škrobu (materiál PLA). [16]

Existují tři základní způsoby aditivní výroby, které se liší principem, použitými materiály a kvalitou výsledného modelu. Tou vůbec nejrozšířenější metodou je Fused Depositing Modeling (FDM), která využívá tavení plastového materiálu procházející skrze tavící trysku. Posunem trysky po podložce v X-ové a Y-ové ose vzniká tenká vrstva modelu. Po vytvoření celé vrstvy se tryska posune o tloušťku jedné vrstvy nahoru v ose Z a celý proces začíná nanovo. U této metody je občas nutné k modelu tisknout pomocné podpory, které drží materiál v místě, kde by jinak působením gravitace nedržel. Podpory je nutné po ukončení tisku od modelu odlomit, což ovlivní výsledný povrch objektu. Proto je metoda FDM tou nejméně kvalitní a u všech vytisknutých objektů je potřeba následná úprava povrchu. [17, 18, 19]

Další metodou aditivní výroby je Selective Laser Sintering (SLS). Princip SLS spočívá v rozprostření velmi jemného prášku na podložce, který je následně spečen velmi výkonným laserem k sobě. Laserový paprsek je usměrňován dvojicí zrcadel, které jsou řízeny počítačem a zprostředkují posuv paprsku v rovině X a Y. Po vytvoření celé vrstvy se podložka sníží, nanese se nová vrstva prášku a tavení se opakuje. Výhodou této metody je absence pomocných podpor, které by pak uživatel musel odstraňovat – podporu pro celou vrstvu tvoří jemný prášek pod ní. SLS využívá k tisku jak plastových prášků, tak i kovových či keramických. Nevýhodou principu je velmi pomalý tisk, vysoké pracovní teploty, vznik škodlivých zplodin a také energetická náročnost celého stroje. [20]

Poslední metodou je stereolitografie fungující na principu vytvrzování fotocitlivého polymeru nebo pryskyřice pomocí ultrafialového záření. Záření je produkováno speciálními LED diodami nebo výkonnou laserovou diodou. Metoda SLA se vyznačuje především rychlým a velmi kvalitním tiskem, který je i energeticky méně náročný než metoda SLS, avšak nevýhodou je pořizovací cena kompatibilních UV materiálů. [21, 22, 23]

Ve své práci jsem se zaměřil na stereolitografickou metodu tisku, protože nabízí větší efektivitu a více výhod než metody FDM a SLS. Další výhodou je menší závadnost stereolitografie díky menšímu počtu pohyblivých částí jako například polohovatelná zrcadla, pojezdové systémy v ose X a Y, bubnový držák na filament a další. Navíc při tisku u SLA metody nevznikají žádné škodlivé výpary a operační teploty materiálu se pohybují kolem 25-35 °C. Oproti tomu největší nevýhodou zůstává prozatím vysoká cena za UV polymery. [19, 24, 25]



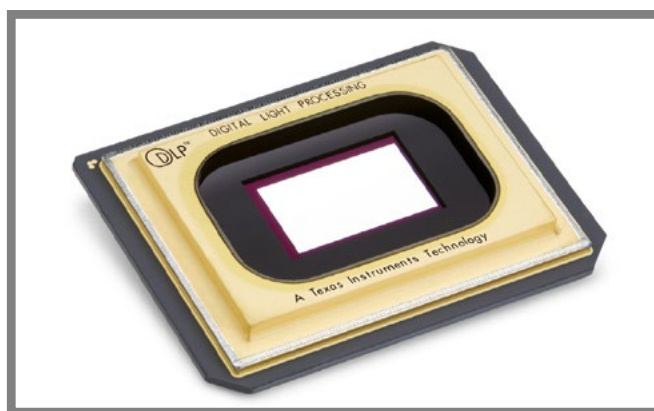
Obr. 2-7 Porovnání kvality jednotlivých metod 3D tisku [25]

### 2.2.1 DLP projektor, laser, CLIP

Základem stereolitografické 3D tiskárny je světelný zdroj, který může být dvojího druhu – DLP projektor, nebo výkonný laser. Oba zdroje vyzařují světelný paprsek o vlnové délce 400-440 nm, tedy v oblasti ultrafialového záření.[22, 25]

Laserový zdroj pracuje na podobném principu jako SLS tiskárny s rozdílem, že místo výkonného laserového paprsku je použitý usměrněný světelný paprsek ultrafialového záření. Paprsek je polohován pomocí soustavy dvou zrcadel ve směru X-ové a Y-ové osy. Princip je tak velmi podobný FDM tiskárnám, protože celá vrstva je tvořena souvislým tahem paprsku, který postupně vytvrzuje polymer. Alternativní variantou je konstrukce, která světelným zdrojem posouvá v ose X a Y pomocí krokových motorků. [22]

Digital Light Processing (DLP) projektor je patentovaný obchodní firmou Texas Instruments. Uvnitř projektoru je soustava mikro zrcadel, kde každé zrcadlo představuje jeden pixel rozlišení. Celá soustava je umístěna na polovodičovém čipu, který zrcadla ovládá mezi dvěma krajními polohami – jedna světlo propouští dále na soustavu čoček a druhá světlo odrazí na slepé chlazené místo. Díky tomu se zobrazují jen černobílé obrazy a je tak zajištěn vysoký kontrast vrstvy, která se má vytvrdit, tedy i kvalita tisku. Nejmenší udávaný rozptyl paprsku, respektive rozlišení tisku v rovině XY, je 10  $\mu\text{m}$ . Tloušťka vrstvy je dána přesností posuvu v ose Z a pohybuje se od 10 do 100  $\mu\text{m}$ . Při použití vyšších rozlišení by se SLA metoda stala srovnatelnou s FDM principem a ztratila by tak svou efektivnost a výhodu. [26]

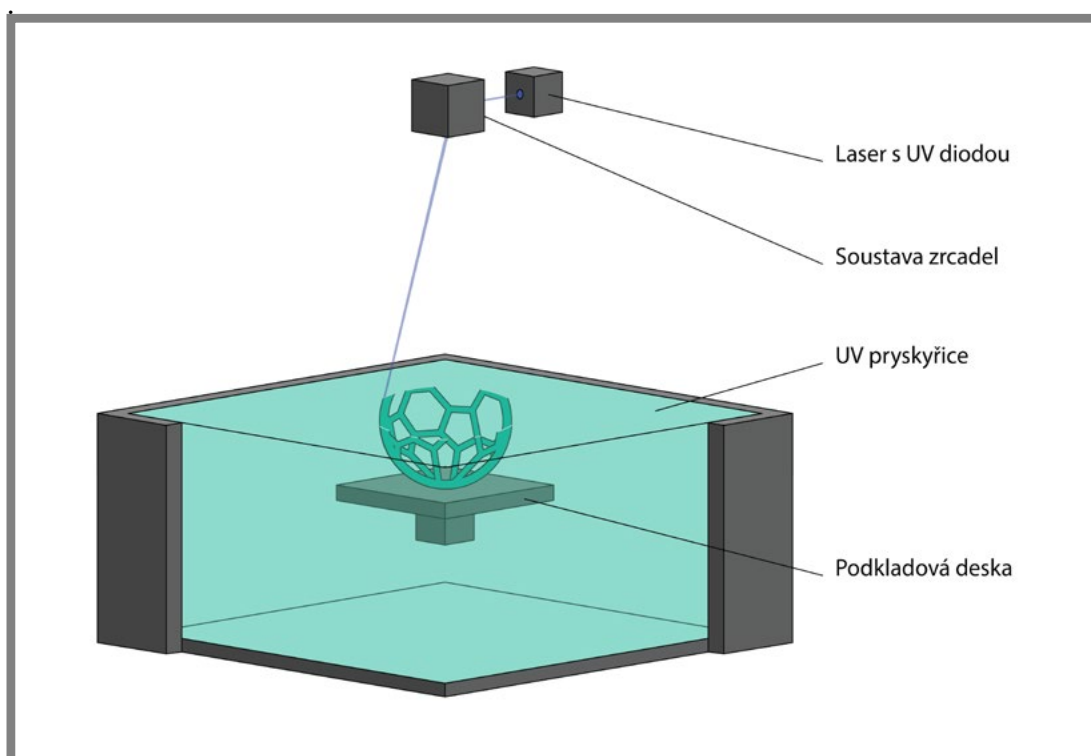


Obr. 2-8 DLP čip s mikrozrcadly [27]

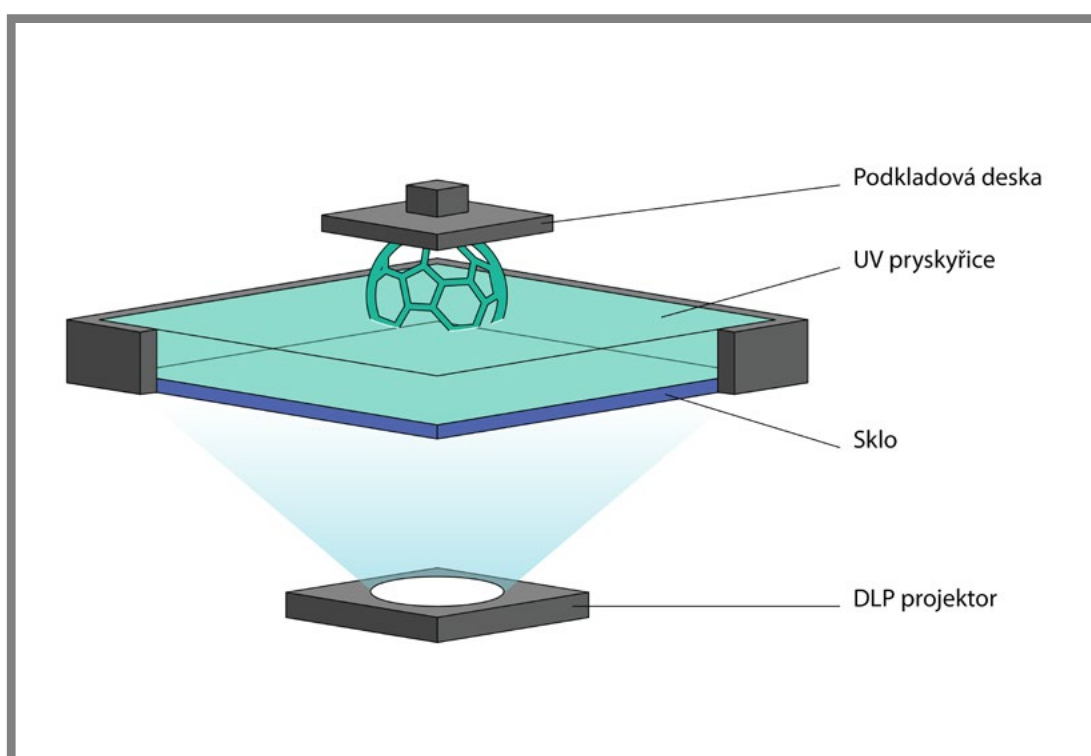
U stereolitografie existují dva typy umístění světelného zdroje. Častější variantou je umístění zdroje nad nádobu s ponořenou podkladovou deskou v materiálu. Při začátku tisku je deska ponořena těsně pod hladinu a tenká vrstva polymeru je ozářena UV paprskem. Po dostatečně dlouhém působení záření se podkladová deska ponoří a přes hladinu přejede speciální stěrač, který odstraní zbytky ztuhnutého materiálu. Poté se deska posune tak, aby se pod hladinou mohla tisknout další vrstva. [22]

Druhou variantou zvanou CLIP (Continuous liquid interface process) je umístění zdroje pod nádobou se speciálním sklem s nízkým indexem lomu. Světelným zdrojem je výhradně DLP projektor. Díky tomu je celý proces tisku kontinuální a doba vytvrzení jedné vrstvy je velmi krátká. Podkladová deska je v tomto případě do nádoby ponořena

shora a při expozici je mezi deskou a dnem nádoby velmi tenká vrstva materiálu. [10, 22, 28]



Obr. 2-9 Schématický princip s laserovým světelným zdrojem [22 - upraveno]



Obr. 2-10 Schématický princip CLIP s DLP projektorem [29 - upraveno]

Při srovnání těchto dvou typů se jeví výhodnější variantou použití DLP projektoru. Oproti usměrněnému paprsku světla má rychlejší tisk, protože osvětluje celou vrstvu najednou a celý proces je více plynulejší. Kvalita tisku je u obou druhů dána rozlišením světelného zdroje. DLP projektor je limitován výrobní technologií a počtem mikro zrcadel na čipu. Světelný paprsek je pak limitován krajními polohami nastavovacích zrcadel či délce pojezdů. Co se týče údržby, je na tom DLP lépe, protože ke své funkci nepotřebuje velké množství pohyblivých částí než v případě UV laseru. Oproti tomu je nutno říct, že funkce DLP projektoru závisí na jediném funkčním členu – čipu s mikro zrcadly, který je poměrně drahý. [24]

### **2.2.2 Podkladová deska a pojezdový systém**

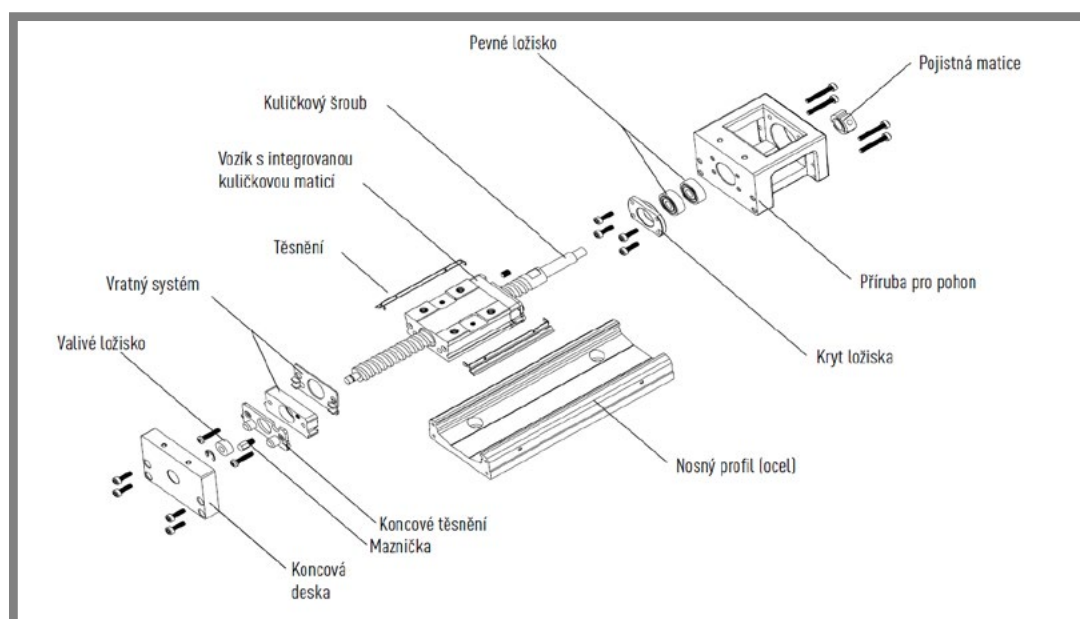
2.2.2

---

Pro správný chod potřebuje stereolitografie velmi málo pohyblivých součástí. Nejdůležitější z nich je pojezdový systém, který je zodpovědný za posuv podkladové desky v ose Z. U některých druhů je pojezdový systém použit i pro posuv usměrněného UV paprsku v rovině XY. Konstrukce pojezdů je nejčastěji tvořena lineárním polohovacím systémem poháněným kuličkovými šrouby a krokovými motory. Délka posuvu a velikost podkladové desky určuje výšku a plochu tiskového prostoru. [30, 31]

Lineární pojezdový systém se skládá z několika důležitých částí – pohon, poháněcí osa, vodící osa (osy), vozík a uchycení. Pro pohon jsou použité krokové nebo servomotory, které obsahují tzv. klidovou brzdu pro možné procesy v ostatních osách. Motory jsou uzpůsobené pro napájení střídavým napětím 230 V. Poháněcí osu reprezentuje kuličkový šroub, který převádí rotační pohyb motoru na lineární posuv vozíku. U posuvu je důležitá rychlost posuvu vozíku, která se odvíjí od rychlosti motoru a stoupání závitu kuličkového šroubu. Správnou kombinací těchto parametrů lze dosáhnout velmi přesného a pomalého polohování. Vozík tvoří kovová konzole, která se pohybuje po jedné nebo více vodících osách a je k němu upevněna matice pro kuličkový šroub. Vodící osou bývá převážně přesně vyfrézovaná kovová tyč se specifickým profilem, do kterého zapadá otvor ve vozíku. Méně častější je použití hladkých kulatin, které skrze kluzná ložiska vymezují pohyb vozíku. Podkladová deska je k celému systému uchycena upínacím mechanismem pro snadnou výměnu nebo demontáž. Všechny stykové plochy vozíku a šroubu musí být promazávány olejem pro dosažení přesnější, rychlejší manipulace a pro ochranu součástí před mechanickým opotřebením. [30, 31]





Obr. 2-11 Schéma lineární polohovací jednotky [31]

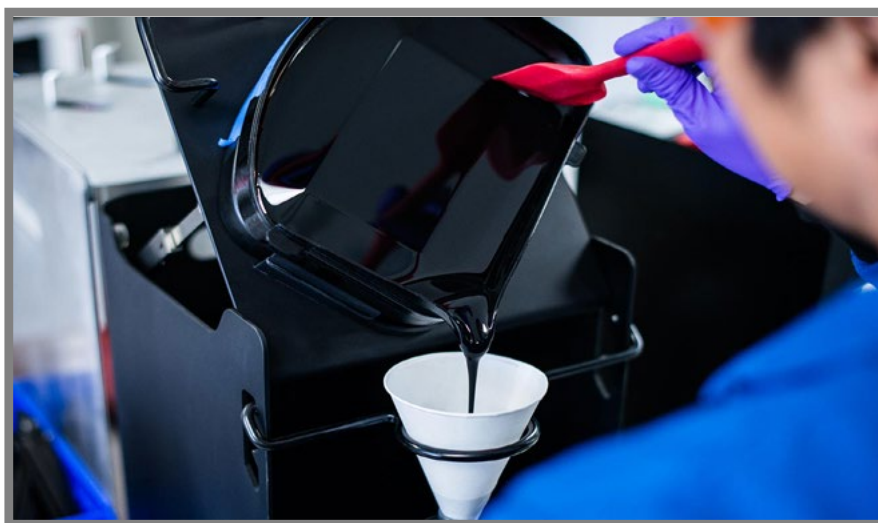
### 2.2.3 UV polymery, materiálová nádoba a zásobník

V současné době lze na trhu nalézt mnoho různých druhů pryskyřic nebo polymerů vhodných pro tisk na stereolitografické 3D tiskárně. Vesměs se jedná o velmi podobné sloučeniny, které se nepatrně liší v mechanických, fyzikálních nebo vzhledových vlastnostech. Základní vlastností je jejich chemická reakce při vystavení UV záření. Materiál lze objednat v mnoha barvách a lze tisknout i z transparentních polymerů. Některé společnosti nabízejí vlastní barvu polymeru, kterou zákazník zadá v CMYK kódu. [14, 32]

Polymery se dělí dle svého chemického složení na několik druhů. Pro potřeby stereolitografie se používá skupina polymerů, která při iradiaci tvoří kationové, anionové nebo radikální řetězce, které se spojí dohromady a vytvoří tak pevnou strukturu. Všechny 3D zobrazovací technologie vyžadují precizní prostorovou a dočasnou kontrolu iradiačního procesu, aby bylo možné vytvořit 3D objekty ve vysoké kvalitě a rozlišení. Proto je důležité použít takový polymer, který má při procesu tisku nejmenší objemové zkreslení. Jako první byly pro stereolitografii použity multifunkční akrylátové a methakrylátové monomery a používají se pro své složení dodnes. V poslední době své uplatnění nachází i epoxidové pryskyřice s podobnými vlastnostmi objemového zkreslení, které navíc velmi dobře reagují na světelné záření a mají skvělé mechanické vlastnosti nebo termální odpor. [21, 23, 32]

Při tisku se celý proces tuhnutí materiálu odehrává v plastové nádobě se speciálním sklem s nízkým indexem lomu, aby nedocházelo ke zkreslení světelného paprsku procházející skrz. Tvar nádoby je uzpůsoben dle pracovního objemu, tedy aby bylo v nádobě dostatečné množství materiálu potřebného pro daný model, pokud není součástí zařízení automatický dávkovač polymeru. Navíc musí být dno nádoby natvarované tak, aby mohl materiál stékat na speciální sklo vlastní vahou. [21, 23, 32]





Obr. 2-12 Recyklace nepoužitého materiálu z nádoby [33]

#### 2.2.4 Rám a kryt stroje

2.2.4

---

Vnější krytování 3D tiskáren se dělí na dvě hlavní části. První částí je kryt vnitřních mechanismů a komponentů tvořený převážně ohýbanými plechy nebo plastovými materiály. Součástí jsou i servisní přístupy do vnitra tiskárny k možné opravě nebo doplnění fotopolymerního do zásobníku nebo do nádoby. Druhou částí je polohovatelný kryt pracovního prostoru. Kryt je vyroben z průhledného PMMA (Polymethylmethakrylát) nebo skla sloužící jako ochrana proti vniknutí prachu a cizích těles do nádoby s materiálem. Kryt slouží také k ochraně obsluhy před UV zářením a současně zabraňuje vnějšímu osvětlení, aby samovolně nevytvrdlilo polymer uvnitř. [14]

#### 2.2.5 Ovládání, napájení a konektivita

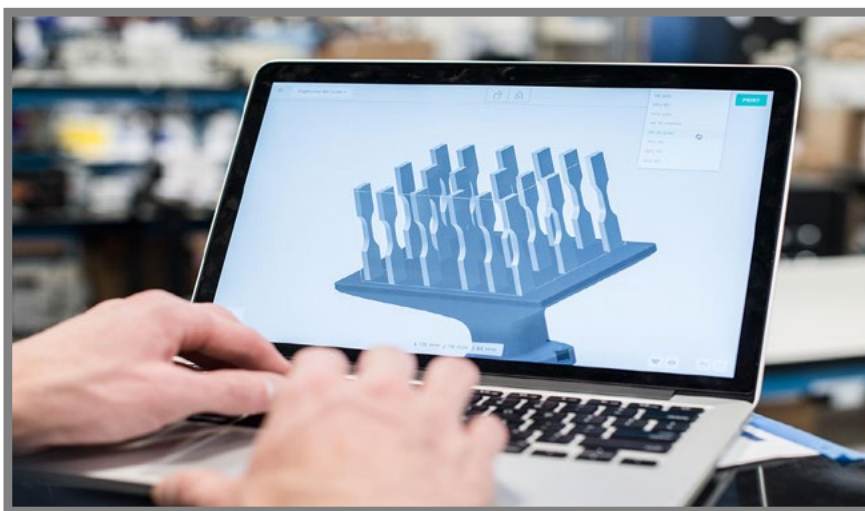
2.2.5

---

Ovládání tiskáren je realizováno pomocí datového připojení k pracovnímu počítači s 3D softwarem. Počítačový 3D model je následně upraven a rozřezán na velmi tenké vrstvy, ty jsou přeneseny do tiskárny pomocí USB portu, Wi-Fi připojení nebo datového kabelu Ethernet. Na tiskárně bývá umístěn také stavový displej k zobrazení chybových hlášek a informací o probíhajícím tisku. Dále jsou zde umístěny ovladače k manipulaci se strojem a k zahájení nebo přerušení tisku. Celý stroj je připojen k síti 230 V střídavého napětí, který napájí přímo krokové motory lineárního polohovacího systému. DLP projektor, počítačové obvody a další systémy (osvětlení, Wi-Fi modul, displej a další) jsou napájeny skrze napěťový zdroj. [14, 34]

### 2.2.6 Příprava dat pro stereolitografii

Před tiskem je třeba model vytvořit ve speciálním modelovacím softwaru, například AutoCAD, Inventor, Rhinoceros, Alias a mnoho dalších. Další možností je vytvořit model pomocí 3D skenování, který vytvoří počítačová data na základě povrchu reálného modelu. V obou případech je potřeba data v počítači upravit tak, aby byl model uzavřený. Následně se musí převést do požadovaného formátu, nejčastěji je to soubor typu STL. Ten ukládá informace o jednotlivých vrstvách modelu, které jsou postupně tištěny. [34]



Obr. 2-13 3D model v 3D softwaru [35]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMŮ A CÍLE PRÁCE

**3**

---

### 3.1 Analýza problému

3.1

---

Rozbor principu stereolitografie, její historie a současné nabídky SLA 3D tiskáren na trhu je při navrhování nového produktu klíčový. Z analýzy je potřeba určit parametry, které jsou pro design směrodatné, omezující, inspirativní anebo vůči kterým by se měl návrh vymezit. Zároveň se dá zjistit, kde mají současní zástupci na trhu mezery nebo naopak své kvality. Vizuální zpracování většiny stereolitografických 3D tiskáren sleduje především funkční požadavky a vykazuje jistou vzájemnou uniformitu. Důraz na originalitu a nekonvenční pohled na řešenou problematiku ukáže nové možnosti vývoje designu těchto zařízení v blízké budoucnosti. Vždyť 3D tisk je označován za rozvíjející se technologii budoucnosti, která se stále vyvíjí, ovlivňuje technologický pokrok a současně je pokrokem sama ovlivňována. Zároveň se jedná o vcelku ekologický a ekonomicky nenáročný proces vytváření trojrozměrných fyzických modelů velmi rozmanitých tvarů.

### 3.2 Cíl diplomové práce

3.2

---

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout stereolitografickou 3D tiskárnu, která použitím nejmodernějších technologií v oblasti DLP projektorů nabídne větší pracovní plochu tisku a umožní tak tisk velkoobjemových modelů najednou. Návrh by tak mohl být předlohou nebo vizí pro další vývoj a zkoumání v oblasti Rapid Prototypingu a stereolitografie. Dalším cílem práce je dosáhnout snadné, ergonomicky pohodlné, a především bezpečné obsluhy stroje pomocí průhledového Head-Up displeje v kombinaci s dotykovou vrstvou zabudovanou do průhledného krytu pracovní plochy.

#### Dílčí cíle diplomové práce:

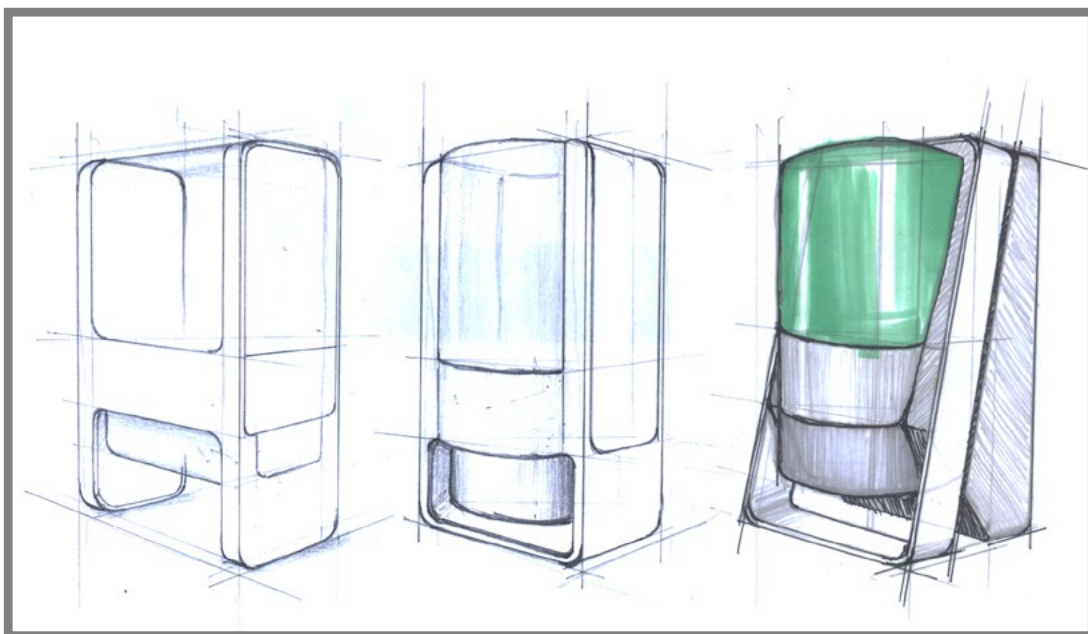
- analyzovat současnou produkci stereolitografických 3D tiskáren,
- navrhnout originální a esteticky působivé designérské řešení,
- prokázat zohlednění funkčních a ergonomických parametrů,
- identifikovat silné a slabé stránky návrhu,
- realizovat prostorový model,
- zpracovat prezentační postery.

## 4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

Při navrhování designu 3D stereolitografické tiskárny je potřeba si uvědomit, co produkt definuje, charakterizuje a odlišuje od ostatních typů 3D tiskáren. Jedním z klíčových aspektů samotného designu je tvar produktu, který ovlivňuje především funkce stroje. Stereolitografie je založena na dynamickém chemickém procesu vytvrzování pryskyřice pomocí světelného paprsku. Jedná se o pomalou metodu, jejíž přesnost je závislá na použití kvalitních a moderních technologií, což by se mělo promítnout do celkového vzhledu designu produktu. Na druhou stranu je 3D tisk velmi náchylný na vnější prostředí, proto by tiskárna neměla působit příliš křehce nebo nestabilně.

Pro tvar návrhu jsou důležité i jednotlivé části systému, například implementaci průhledového displeje použitého k zobrazení informací a k ovládání tiskárny odpadá hledání vhodného místa pro LCD displej, který by mohl tvar velmi ovlivnit. Další nedílnou součástí je respektování ergonomických a bezpečnostních norem, které jsou základem navrhování stroje určeného k časté obsluze.

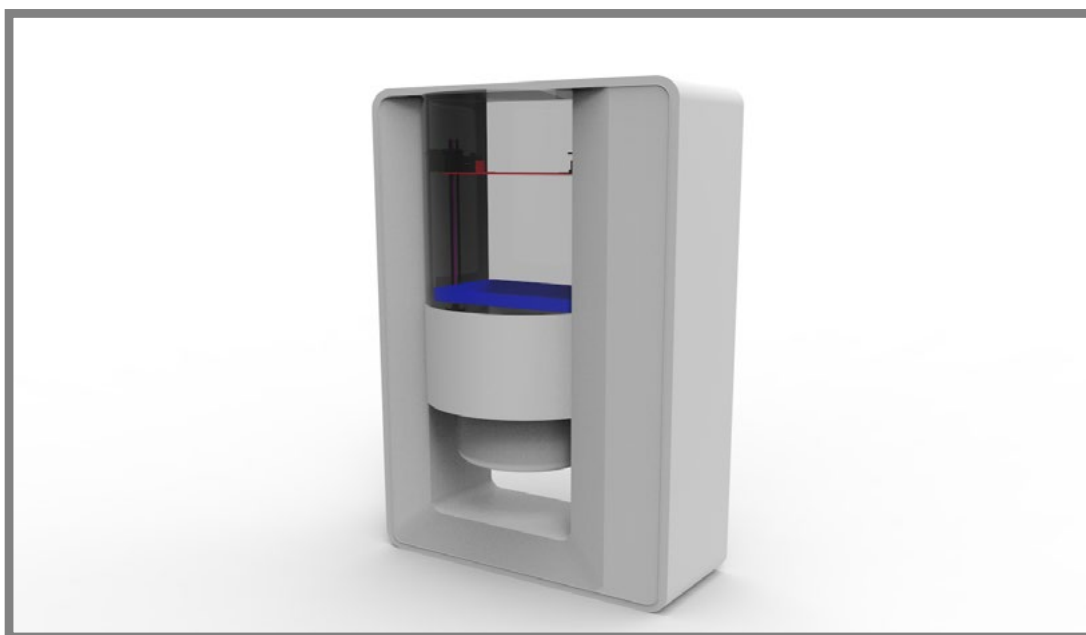
Při navrhování jsem se ze začátku nechal inspirovat minimalistickou tvorbou různých CNC strojů. První nápady jsou zaznamenány ve formě skic a postupně rozpracovány do několika variant. Z těchto myšlenek později vznikly trojrozměrné počítačové modely.



Obr. 4-1 Skici

## 4.1 Varianta I

Základem prvního návrhu je vnější rám ve tvaru písmene U, který obepíná celý stroj po celém obvodu a středová část, která je rozdělena do dvou Oblastí. První částí je pracovní prostor, který je oddělen průhledným krytem, ve druhé části se nachází samotné jádro tiskárny – DLP projektor s elektronikou. Celá středová část má válcový tvar, což narušuje geometrický stereotyp klasického tvarování. Výhodou válcového tvaru je větší pozorovací úhel dovnitř 3D tiskárny, a tedy i lepší kontrola nad tiskem. Vnější rám je na pravé straně rozšířen z důvodu snadnějšího přístupu k důležitým součástem stroje a jejich manipulaci s nimi. Je zde umístěna elektronika, zásobník na materiál, konektory pro napájení, motor pohánějící polohovací systém a další. Celkové rozměry tiskárny jsou přibližně 1100×2000×700 milimetrů. Šířka rámu je 500 milimetrů, což by mělo pro servisní manipulaci se strojem stačit.

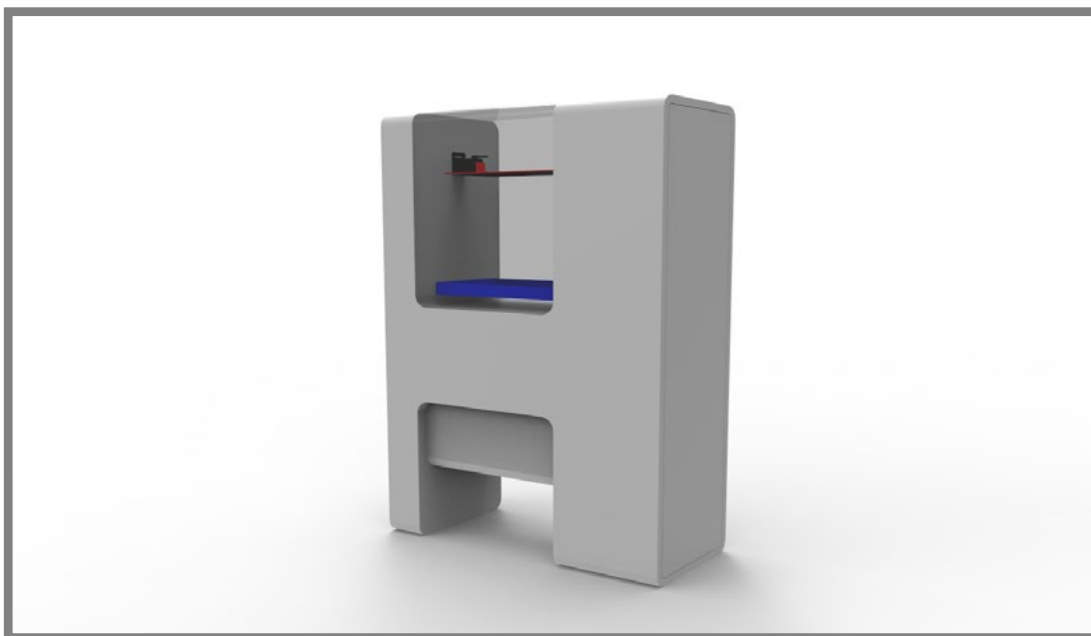


Obr. 4-2 Varianta I.

---

## 4.2 Varianta II

Tvar varianty II je klasické, ale jednoduché a minimalistické. Tvarosloví vychází z vysokého kvádru, který je rozdělen pracovní částí do tvaru písmene H, které je rozšířené na jedné straně opět kvůli umístění vnitřních součástí a snadnému servisnímu přístupu do vnitra stroje. Pracovní prostor je chráněn průhledným krytem, který se vysouvá směrem nahoru po kolejnicovém systému. Oproti první variantě je kryt rovinného charakteru a nenabízí tak velký pozorovací úhel, za to je celý stroj menších rozměrů z důvodu efektivnějšího využití volného prostoru uvnitř. Uprostřed ve spodní části písmene H se nachází kryt pro DLP projektor, který se dá vyklopit směrem dolů v případě opravy nebo nutné manipulace. Výhodou plošného tvarování je prostorová nenáročnost a poměrně malé nároky na výrobu dílů. Nevýhodou je stereotypní tvar, který se od současných 3D tiskáren zásadně tolik neliší a nabízí se otázka, zda by měl stroj ve stále rozvíjející se konkurenci šanci na úspěch. Rozměry této varianty jsou přibližně 1100 milimetru na šířku, 500 milimetrů do hloubky a 1800 milimetrů na výšku. Spodní hrana krytu je z ergonomického hlediska umístěna ve výšce 1100 milimetrů nad zemí, nádoba je pak ještě o pár desítek milimetrů výše.

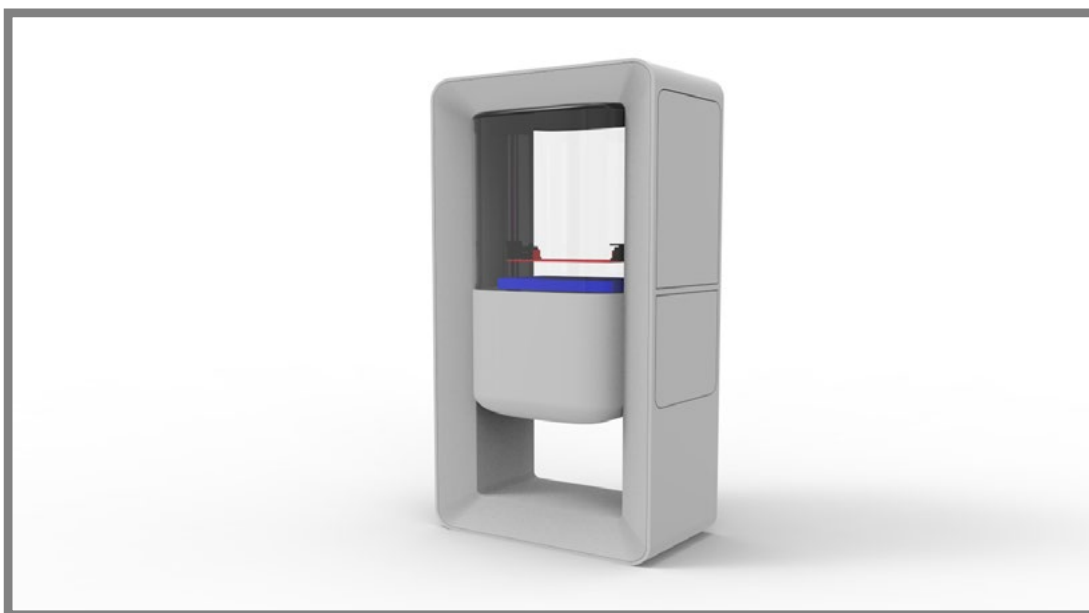


Obr. 4-3 Varianta II

### 4.3 Varianta III

Nejatraktivnější a nejzajímavější variantou je varianta III. Jednoduché symetrické tvarování vnějšího rámu i středové konzole působí na člověka klidně a stabilně. Středová část je rozdělena opět na dvě části – pracovní část a prostor s DLP projektorem. Oproti vnějšímu rámu je ta středová tvarovaná organicky. V celkovém dojmu se zde potkává geometricky založený tvar rámu a organický tvar středové konzole, což dodává návrhu zajímavou koncepci. Navíc je díky oblému krytu možné sledovat proces tisku i z větších pozorovacích úhlů. Po obou stranách rámu jsou umístěny servisní otvory pro přístup k lineárnímu polohovacímu zařízení, zásobníku a čerpadlu na polymer. Elektronika, zdroj napětí a základní deska spolu s dalšími součástmi jsou umístěné ve spodní části středové konzole. Přední kryt lze vysunout podobně jako šuplík a lze se tak dostat k výše popsaným komponentům. Prostorově je třetí varianta nejskladnější, ale i nejvyšší – její šířka, hloubka a výška jsou 1000×2200×650 milimetrů.

Vzhledem k zajímavému tvarování, které tato varianta nabízí, je varianta III dále zpracována a vychází z ní finální varianta designu.



Obr. 4-4 Varianta III

## 5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

Výsledný design produktu ve své podstatě vychází z velké části z varianty I a III. Na první pohled je patrné použití vnějšího nosného rámu s velmi podobným tvarováním. Použití rámu přináší tvarově čistý a symetrický vzhled, což dodává konceptu atraktivitu a odlišuje tak produkt od těch současných na trhu. Popis vzhledu a tvaru mého návrhu 3D tiskárny jsem rozdělil podle jednotlivých částí, které jsou důležité nebo na první pohled výrazné.

### 5.1 Vnější rám

Rám celého stroje je na první pohled dost výrazný a tvoří charakteristický prvek designu. Vnější plášť je tvořen z hliníkového plechu s broušenou povrchovou úpravou. Plášť je po obou stranách mírně zaoblen. Je rozdělen výrobními spárami na spodní a horní straně a po obou stranách je rozdělen navíc na servisní dvířka. Vnitřní část rámu tvoří dvě plochy z polykarbonátu, které jsou mírně zapuštěny a celou hmotu tak odlehčují. Přední plocha je ve spodní části navíc prohnutá směrem dovnitř z důvodu pohodlnějšího ergonomického přístupu. Na levé straně přední plochy jsou zapuštěny do materiálu 3 tlačítka. Největším z nich se tiskárna zapne/vypne, druhým ovladačem se odemyká kryt pracovní plochy a třetím ovládá otevírání servisních dvířek po stranách tiskárny. Tlačítka jsou dobře viditelná a jejich funkce je popsána vhodnými piktogramy, které jsou navíc podsvícené pro lepší orientaci ve tmě nebo za šera. Na zadní straně ve spodní části plochy je umístěn konektor k připojení tiskárny k elektrické síti. Celková výška rámové konstrukce a celé tiskárny je 2000 mm, což je v kombinaci s umístěním středové části ideální pro průměrně vysokou, stojící postavu muže či ženy. Šířka 3D tiskárny je 1000 mm a šířka obdélníkového rámu je po celém obvodu je necelých 170 milimetrů. Hloubka stroje, a tedy i šířka servisních dveří činí 576 milimetrů.



Obr. 5-1 Perspektivní pohled na tiskárnu.



## 5.2 Servisní přístup

Po obou stranách rámu jsou umístěny servisní přístupy pro manipulaci s lineárním polohovacím zařízením, motory, které je pohánějí a k zásobníkům na UV polymer. Přístup je realizován výsuvným rámem uchyceným drážkami na kolejnicovém systému v horní části stroje. Na rámu je uchycen vnější plech s větrací mřížkou, která má i filtrační charakter a zabraňuje přístupu prachu a nečistot do pracovního tisku. Větrací otvory jsou do hliníkového plechu vyřezány laserem jako grafická struktura, jenž tvoří několik trojúhelníků se zaoblenými rohy, které se od středu struktury zmenšují do ztracena. Použití tvaru trojúhelníku je kvůli jeho symetričnosti a celkovému dojmu do sebe zapadajících částic, který reflektuje princip 3D tisku tvořící objekty vrstvením tenkých složitých vrstev. Za větracími otvory se nachází textilie, která slouží především k filtraci vzduchu od prachu a velkých částic, ale také jako odstínění vnějšího světla, které by mohlo pronikat skrze otvory dovnitř tiskárny. Servisní dvířka jsou vysoká 1100 milimetrů a jsou tak dostatečně velká na to, aby byl zajištěn pohodlný přístup k polohovacímu systému a dalším součástem.



Obr. 5-2 Pohled na servisní dvířka v otevřené poloze.

## 5.3 Pracovní prostor a ochranný kryt

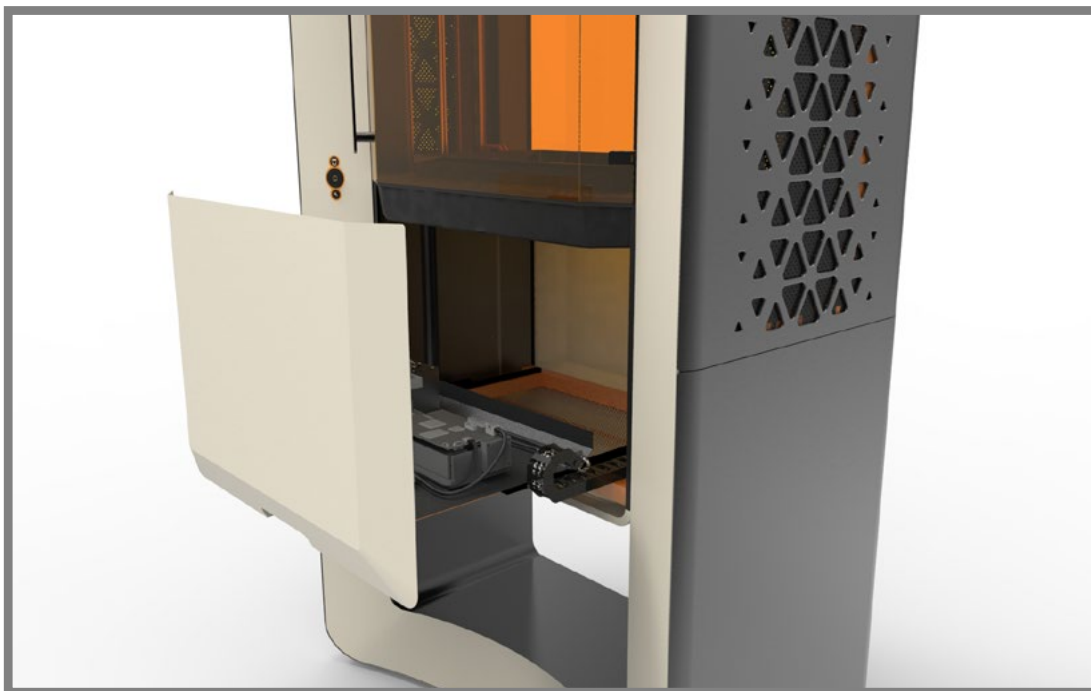
Uprostřed vnějšího rámu se nachází středová konzole rozdělena na dvě části. Tou první umístěnou nahoře je ochranný kryt, který obklopuje pracovní prostor. Kryt je vyroben z oranžového čirého Polymethylmethakrylátu (PMMA), které se u stereolitografických tiskáren běžně používá. Tvar krytu vychází z obdélníkové plochy se zkosenými boky a horní hranou. Díky tomu je celá plocha předsazená a zvětšuje tak vnitřní prostor tiskárny. Horní rohy krytu jsou zaoblené a kopírují tak tvar nosného rámu. Přední kryt je uchycen na dvou dveřních kovových závěsech na pravé straně a otevírá se pomocí madla na opačné straně krytu. Ve spodní části předního krytu je zabudovaná dotyková

vrstva, která zprostředkovává ovládaní procesu tisku a další informace, které jsou na kryt promítnuty pomocí Head-Up displeje. Zadní kryt je pouze ochranného charakteru a nedá se s ním nijak manipulovat.

---

#### 5.4 Kryt DLP projektoru a elektroniky

Ve spodní části středové konzole se nachází šuplík, na kterém je uchycen DLP projektor, napájecí zdroj a elektronika celé tiskárny. Šuplík se skládá z rámu uchyceného skrze kolejničky na vnitřní rám celé tiskárny. Rám šuplíku tvoří nosnou konstrukci pro komponenty a přední kryt, na něj je z vnitřní strany umístěno stínění k zabránění nechtěným odrazům světla na dno pracovní nádoby. Celý rám lze pomocí kolejnicového systému vysunout i s předním krytem o 400 mm, což umožňuje pohodlně s vnitřními součástmi manipulovat. Přední kryt šuplíku plní ochrannou funkci před vniknutím cizích těles nebo nechtěným zásahem obsluhy dovnitř při procesu tisku. Přední plocha navazuje na tvar ochranného rámu, která spolu s krytem působí čistě, jednotně a symetricky. Zadní plocha má pouze ochranný charakter a je k celé tiskárně přimontována napevno. Obě tyto plochy jsou vyrobeny z polykarbonátu a spojují opticky vnější rám a středovou konzoli v jeden celek.



Obr. 5-3 Otevřený šuplík s elektronikou

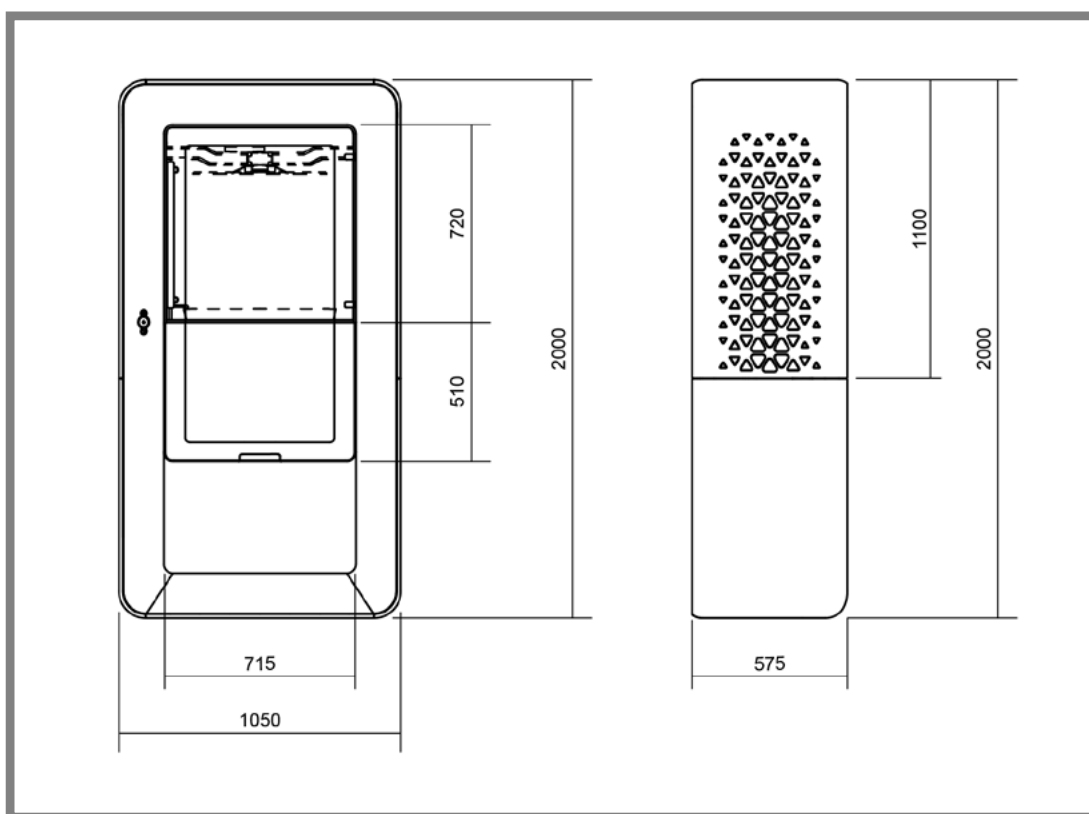
## 6 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Z konstrukčního hlediska je stereolitografická tiskárna náchylná na každou výrobní nebo technologickou vadu a správný design by těmto problémům měl předcházet anebo je alespoň eliminovat. Jedná se o velice citlivý stroj, jehož kvalita závisí na použitých výrobních metodách, součástech, materiálech a v neposlední řadě i správné manipulaci obsluhy s tiskárnou.

### 6.1 Konstrukční řešení

Velikost stroje se odvíjí především od maximálního objemu modelu, který lze vytisknout, a od ergonomických norem. Vnější rozměry produktu jsou 1050×2000×575 mm (š×v×h). Při umísťování do prostoru je nutno počítat s otevíráním předního krytu a bočních dvířek. Při vysunutí obou servisních dvířek do strany se šířka stroje zvětší o 500 mm na každou stranu, tedy na 2050 mm a při otevření předního šuplíku se hloubka prodlouží na 975 mm.

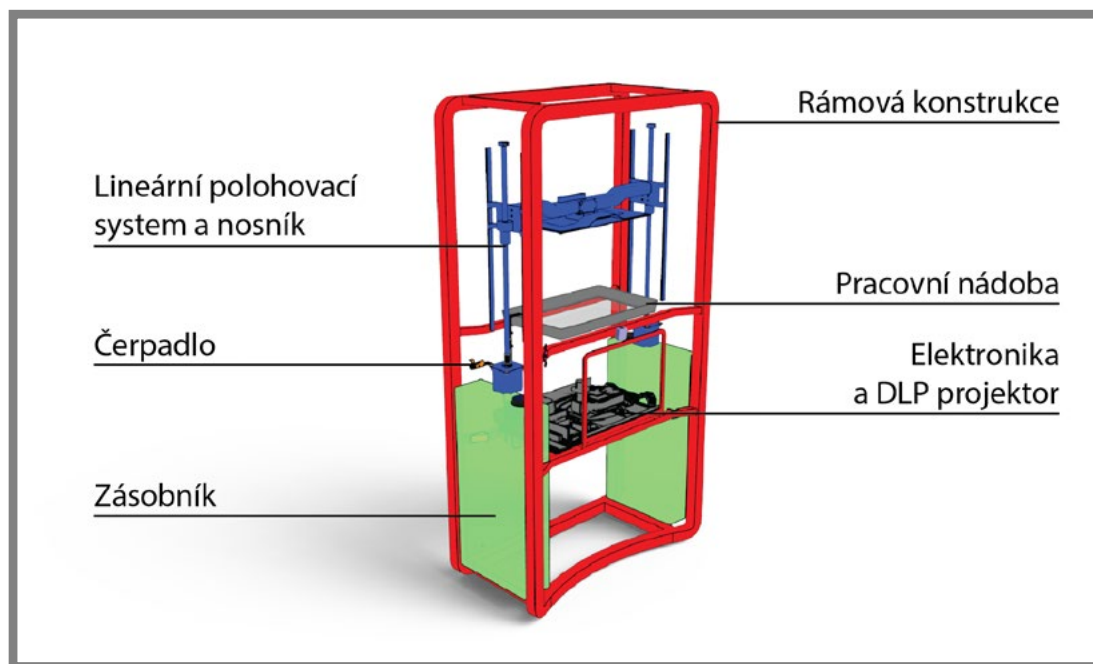
6.1



Obr. 6-1 Rozměry tiskárny

### 6.1.1 Rozmístění vnitřních částí

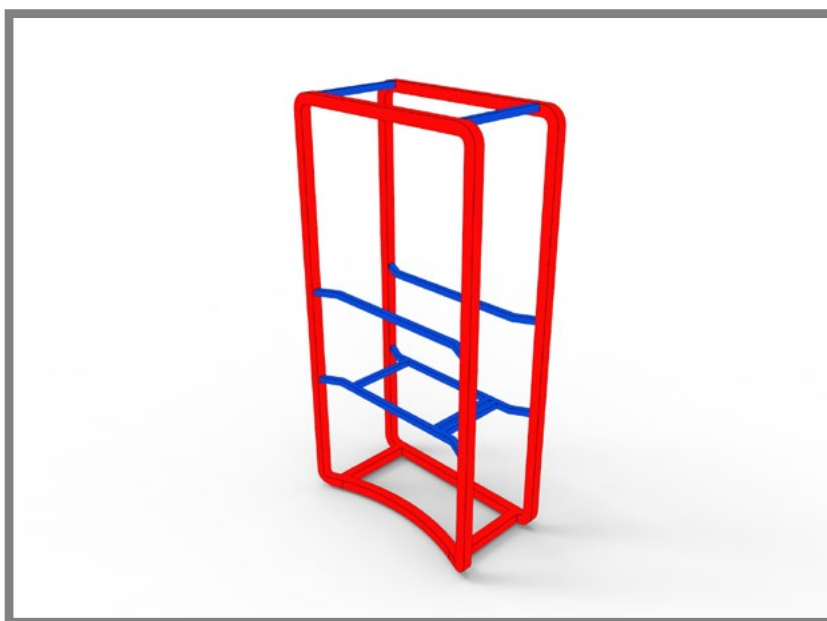
Na obrázku níže je vidět vnitřní uspořádání jednotlivých částí tiskárny. Ve vnějším rámu po na každé straně umístěn zásobník na polymer, příruba s krokovým motorem, poháněcí a vodící vedení lineárního polohovacího systému a vozík nesoucí konzoli s podkladovou deskou. Na levé straně rámu je navíc uchyceno elektrické čerpadlo na UV polymer. Ovládací tlačítka se nachází vlevo od středové části v místě, kde se setkává ochranný kryt se krytem šuplíku. Za ním je ukryta elektronika a DLP projektor. Nad ním se nachází ochranný kryt s displejem a za ním se nachází pracovní nádoba.



Obr. 6-2 Vnitřní uspořádání součástí

### 6.1.2 Rámová konstrukce

Základní nosný prvek tiskárny tvoří rám, na který je upevněno vše, co je na tiskárně nepohyblivé. Celý rám je dohromady sestaven z několika natvarovaných jablek čtvercového průřezu. Jablek jsou z konstrukční oceli S235JRH (1.0039). Rám je sestaven ze dvou různých velikostí – na vnější rámování stroje je použit čtvercový průřez o délce strany 50 mm a tloušťce stěny 3 mm (na obrázku červenou barvou). Na spojení těchto rámu k sobě je použit menší průřez o straně dlouhé 30 mm, tloušťka stěny je stejná jako u většího průřezu (modrou barvou). Jednotlivé díly jsou k sobě svařeny metodou MIG/MAG, která je pro konstrukční ocel ideální a rychlá. Další prvky jsou k rámu uchyceny pomocí šroubů.



Obr. 6-3 Rámová konstrukce stroje

### 6.1.3 Digital Light Processing projektor a pracovní prostor

6.1.3

Tou nejdůležitější součástí, která určuje parametry a kvalitu tisku, je DLP projektor. Předním výrobcem projektorů je americká firma Texas Industries, která vyrábí čipy s mikro zrcadly v několika provedeních a sestavách. Největší projektor dodávaný v dnešní době je DLP4500UV s rozlišením 1920×1080 pixelů, respektive zrcadel (Full HD). Rozptyl jednoho mikro zrcadla uvnitř je 10,8  $\mu\text{m}$ , což udává nejnižší hranici kvality 3D tisku. Horní hranici určuje nastavení optických čoček, které dokážou rozptýlit světelný signál na větší plochu, ale za cenu zhoršení kvality výsledného trojrozměrného objektu. Návrh vlastní SLA tiskárny však počítá s použitím koncepčního DLP projektoru s 8K rozlišením, tedy 7680×4320 pixelů/zrcadel, který se však prozatím nevyrábí pro svou technickou a výrobní náročnost. S trendem stále se zvětšujících displejů, monitorů a vyšších nároků na zobrazovací technologie lze očekávat, že se v horizontu několika let rozšiřování a zvětšování rozlišení dotkne i oblasti DLP projektorů. Díky tomu je návrh tiskárny spíše vizí do budoucna, jakou by se stereolitografie mohla po estetické stránce ubírat.

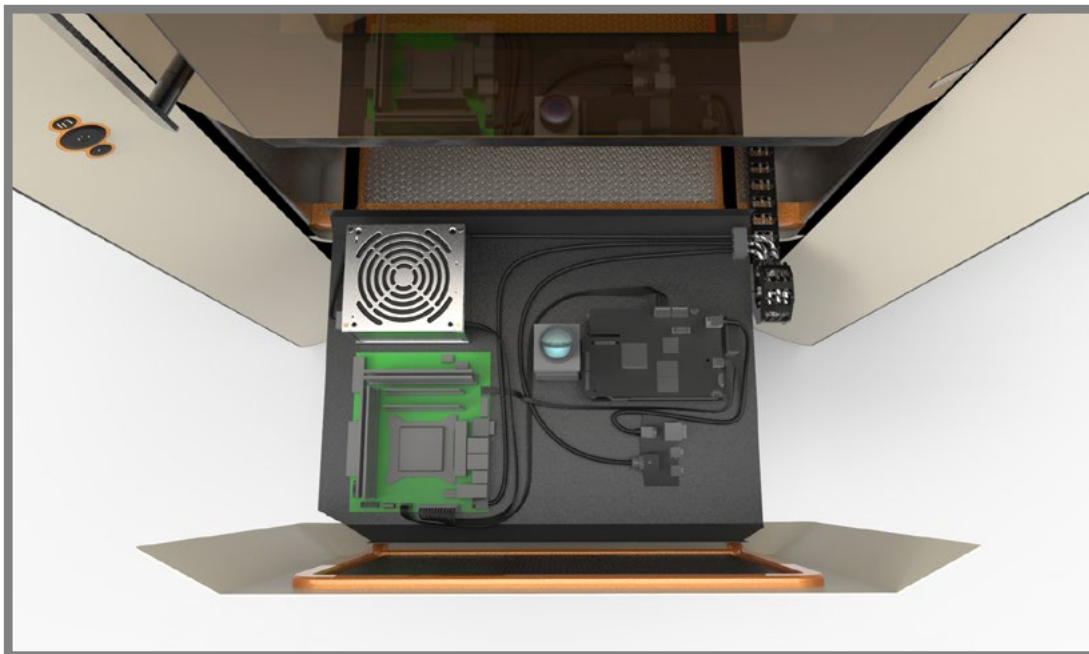
Při použití 8K DLP projektoru s rozptylem zrcadla 67  $\mu\text{m}$  (tedy stále o 33 % přesnějším rozlišení než u FDM tisku), by reálná tisková plocha měřila přibližně 500×290 mm. Při nejmenším možném rozptylu 10,8  $\mu\text{m}$  by tisková plocha měla rozměr 83×46 mm. V kombinaci s maximální výškou posuvu 550 mm podkladové desky je možné vytisknout trojrozměrný objekt o maximálních rozměrech 500×290×550 mm, což je v dnešní době u zástupců stereolitografie téměř nepředstavitelné.

### 6.1.4 Elektronika a konektivita

6.1.4

Správná funkce tiskárny a jejích jednotlivých částí je řízena počítačovým obvodem. Sestava komponent na základní desce by měla být uzpůsobena k práci s velkým

objemem dat. Velké rozlišení DLP projektoru vyžaduje výkonný procesor s vysokou frekvencí, velkou zásobu gigabitů paměti RAM, dobrou grafickou kartu a pro přenos dat do tiskárny i Wi-Fi modul. Současně je nutné myslet na připojení ostatních systémů v tiskárně k elektrické síti, které jsou napájeny buď ze základové desky, přímo z napětového zdroje nebo skrze vlastní adaptér. Všechny tyto součásti jsou poskládány na dno šuplíku a zapojeny k sobě. Kabeláž, která vede z šuplíku k různým částem tiskárny, musí počítat s rezervou při vysouvání šuplíku. Ochranu zajišťuje vodící dopravník napravo od podesty se součástkami.



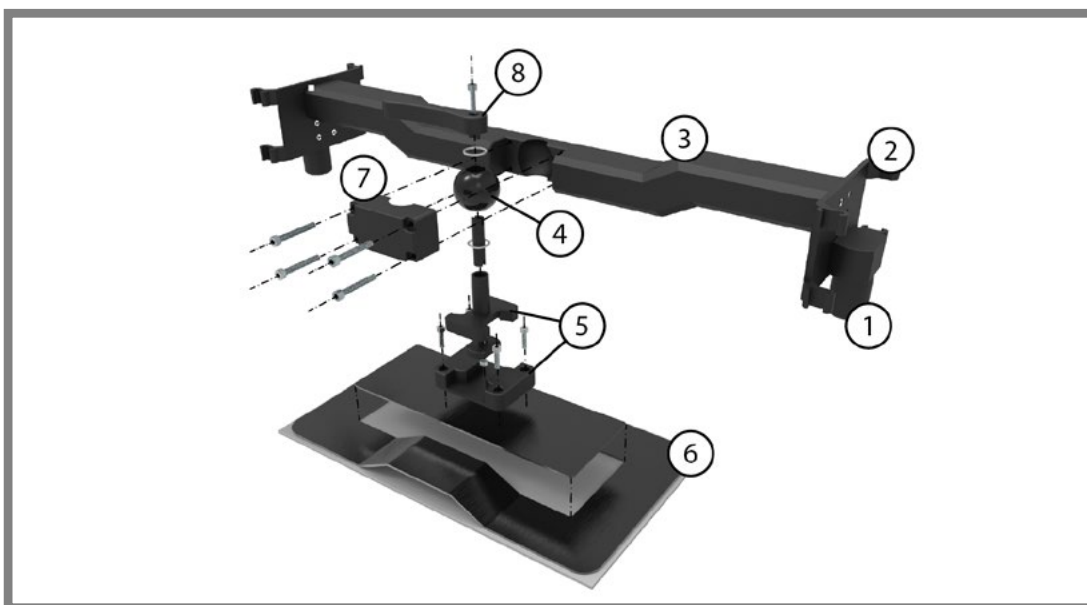
Obr. 6-4 Pohled na DLP projektor, základní desku a další komponenty.

### 6.1.5 Lineární polohovací systém (LPS) a konzole

Dalším důležitým prvkem návrhu je pohybový aparát, který je zodpovědný za posuv tisku ve svislém směru. Pohonem celého systému jsou dva krokové motory osazené regulátorem. Motory jsou poháněny stejnosměrným napětím 12-24 V a k základní desce jsou připojeny skrze konektor USB, RJ-232, RJ-485, nebo CANopen. Pro zastavení posuvu na místě při náhlém přerušení tisku jsou motory vybaveny motorickou brzdou o síle 7 Nm. Hřídel, na níž jsou uchyceny kuličkové šrouby, má průměr 12,7 mm. Pro dosažení vysoké přesnosti jsou použity broušené kuličkové šrouby o přesnosti P1, které mají maximální úchylku stoupání 0,006/300 mm. Průměr hřídele je 25 mm a délka je 650 mm. Na šroubu se nachází speciální válcová matice, k níž je připevněn vozík. Na každé straně vozíku jsou 2 vodící hlavy, které zapadají do dvojice kovových tyčí vyfrézovaných do profilu písmene H. Uprostřed vozíku se nachází otvory k montáži středového nosníku. Tvar nosníku je uprostřed snížený, aby byla podkladová deska, co nejnižší a byla dostatečně ponořena do polymeru. Doprostřed nosníku je vyfrézované místo pro uchycení kulové hlavy pro podkladovou desku. Kulovou hlavou prochází uchopovací mechanismus, k němuž se fixuje konzole připevněná k podkladové desce. Celý princip je zobrazen níže na obrázku pro lepší pochopení. Sestava je opatřena madlem, která umožňuje konzoli s podkladovou deskou demontovat a vyjmout ze



zařízení i s vytištěným modelem. Upevňovací hlavu je také možné rozebrat v případě poruchy a následné výměně některé z částí.



**Obr. 6-5** Rozložený polohovací systém a uchopovací mechanismus podkladové desky, 1 - matice kulíčkového šroubu, 2 - vozík, 3 - nosník, 4 - kulová hlava, 5 - upevňovací mechanismus, 6 - podkladová deska, 7 - protikus držáku kulové hlavy, 8 - uvolňovací madlo.

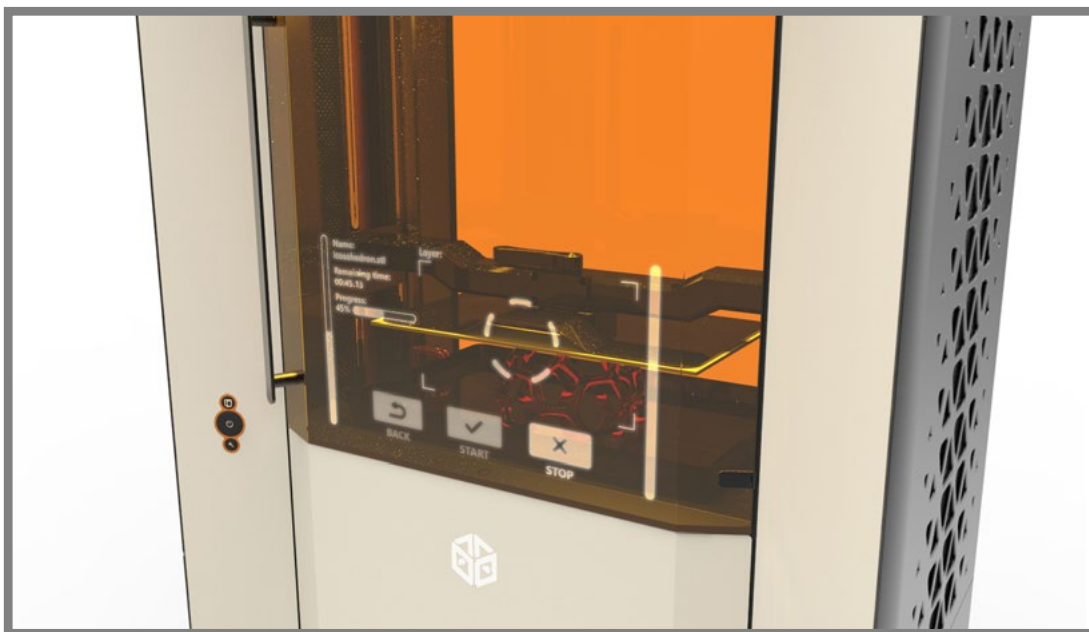
### 6.1.6 Head-Up displej (HUD), ochranný kryt a ovládací prvky

6.1.6

K ovládání tiskárny slouží manuální tlačítka a dotykový Head-Up displej promítaný na spodní část skla. Tlačítka jsou kulatého tvaru v řadě nad sebou. Největší z nich je hlavní vypínač zařízení, je umístěn uprostřed a je do něj vyražen piktogram zapnout/vypnout. Knoflík má průměr 40 mm. Druhým tlačítkem je ovladač zámku ochranného krytu. Z bezpečnostního hlediska je zámek uzavřen a v průběhu tisku jej lze odemknout přerušením nebo dokončením procesu. Tlačítko zámku je umístěno nad hlavním knoflíkem, tedy blíže ke krytu. Velikost knoflíku je v průměru 30 mm s piktogramem otevřených dveří. Tím třetím ovladačem je otevírání servisních přístupů. Po jeho zmáčknutí se na displeji objeví volba servisního krytu, který se má otevřít. Na výběr je z předního šuplíku s elektronikou nebo bočních servisních dvířek. Knoflík se nachází pod hlavním vypínačem a uprostřed je vyobrazen piktogram opravárenského klíče. Velikost je stejná jako u zámku krytu, tedy 30 mm. Všechna tři tlačítka mají ikony podsvícené, aby je bylo možné vidět i za snížené viditelnosti.

Druhou ovládací oblastí je dotykový displej na ochranném krytu. Ten je tvořen dotykovou kapacitní vrstvou nalepenou na vnitřní plochu ochranného skla umístěného ve spodní části. Grafické rozhraní je promítáno pomocí průhledového Head-Up displeje. Plocha dotykové a zároveň promítané části displeje je 500×270 mm. Samotné zařízení, které je zodpovědné za grafické rozhraní, je ukryto před pracovní nádobou pod plastovým krytem. Na horní straně krytu se nachází malé sklíčko, které chrání soustavu čoček rozptylující promítanou vrstvu. Princip HUD displeje pracuje s černobílým rastrem a na sklo promítá jen signál bílé barvy. Je tak dosažen kontrast zobrazeného rozhraní

a dobrá čitelnost. Rozmístění prvků grafického rozhraní je podrobně popsáno v další kapitole.

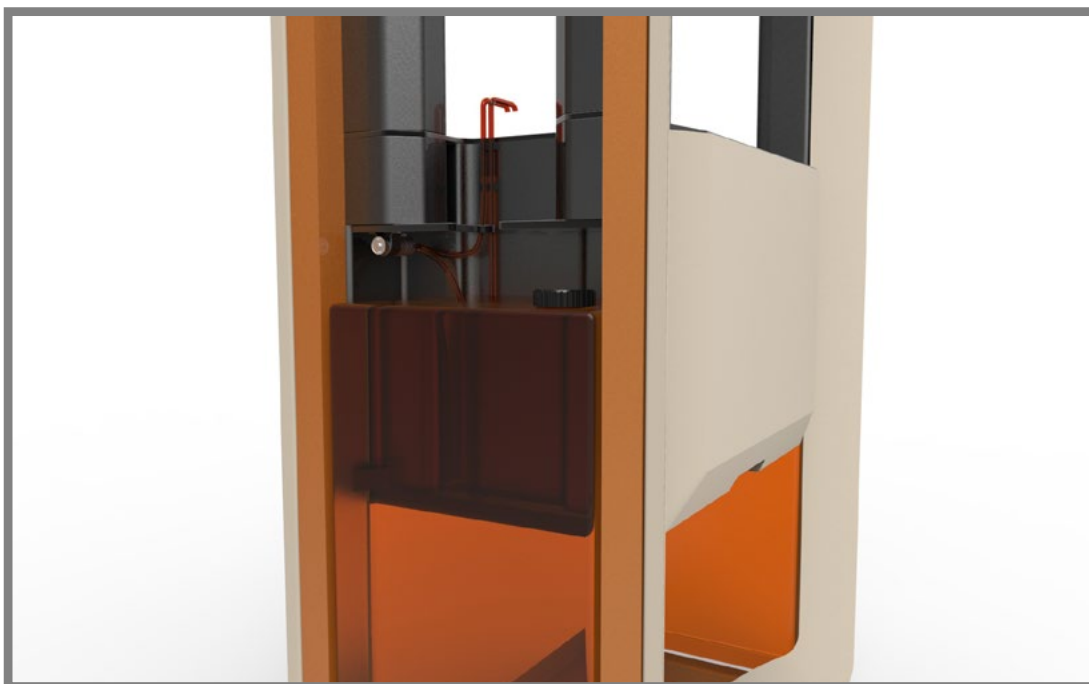


Obr. 6-6 Tlačítka a displej

#### 6.1.7 Zásobník polymeru a čerpadlo

Velký pracovní prostor s sebou přináší problém uskladnění potřebného množství UV polymeru. Maximální teoreticky vytisknutelný objem má okolo 77 l materiálu. Takové množství by v zařízení mělo být uskladněno, aby uživatel nemusel každou chvíli polymer doplňovat. Proto jsou z obou stran vnějšího rámu umístěny dvě nádoby, každá o objemu 40 l. UV polymer je do nádoby přidáván pomocí elektrického čerpadla řízeného počítačovým obvodem. Ten je zodpovědný za automatizaci doplňování při tisku a postupně odebírá materiál nejdříve z jednoho zásobníku a poté z druhého. Pracovní nádoba je vysoká 50 mm a jednorázově je schopna vytisknout model z 8 litrů materiálu. V případě výměny materiálu je možné celý zásobník vyčerpat do externí nádoby pomocí čerpadla na materiál. Do vnější nádoby lze přčerpat materiál po odstranění pracovní nádoby z tiskárny. Poté může být nádoba umístěna pod dávkovací hadičky. Po dokončení tiskového procesu je možné pracovní nádobu s nevyužitým materiálem vyndat z tiskárny a slít polymer zpět do zásobníku nebo na jiné místo a opět jej použít jindy.





Obr. 6-7 Pohled na zásobník a čerpadlo

## 6.2 Ergonomie 3D tiskárny

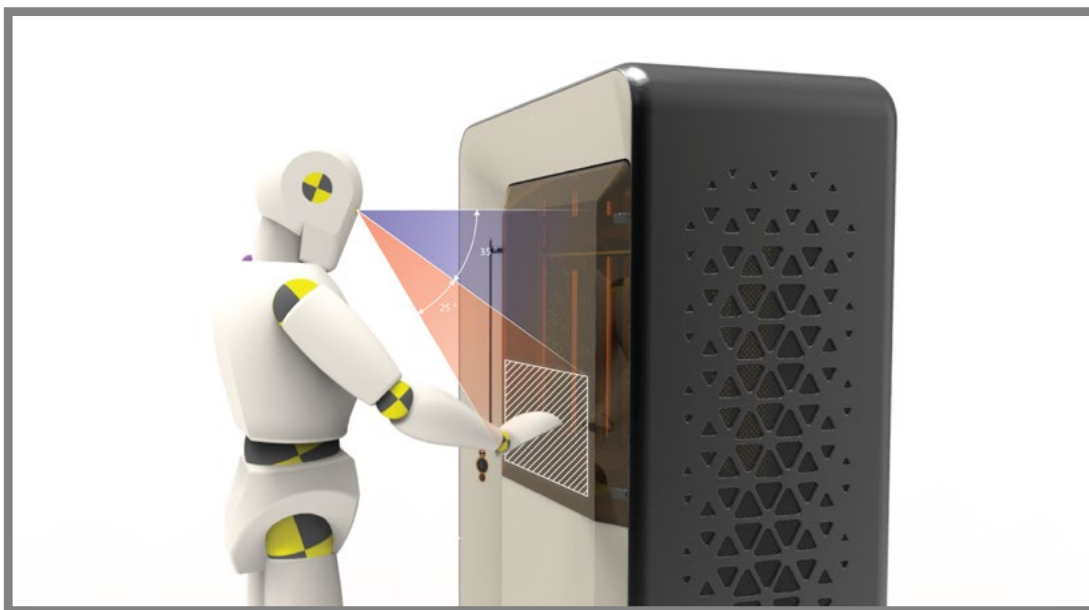
6.2

Manipulace s tiskárnou, ovládání a kontrola procesu je z hlediska ergonomie určeno především pro stojící obsluhu. Při navrhování jsem vycházel z ergonomických norem pro průměrnou postavu, proto jsou všechny ovládací oblasti umístěny ve výšce 1125 až 1405 mm. Zároveň je manipulace částečně uzpůsobena i pro obsluhu osob na invalidním vozíku s omezením některých pracovních úkonů. Ideální výška ovládání je pro vozíčkáře v rozmezí 1100 až 1372 mm. Jedinou činností, kterou nemůže vozíčkář vykonávat je demontáž hotového modelu, protože výška konzole se v této situaci nachází ve výšce 1740 mm. [36, 37]

### 6.2.1 ochranný kryt a poloha displeje

6.2.1

Pracovní prostor tisku je ohraničen ochranným předním krytem a má spodní hranici ve výšce 1100 mm, jeho horní hranice je výšce 1825 mm. Díky zapuštěným hranám nabízí kryt velký pozorovací úhel 125 °. Sklo je možné otevřít také v úhlu 125 ° a nebrání uživateli v práci uvnitř zařízení. V levé části krytu se nachází madlo, kterým se kryt otevírá nebo zavírá. Jeho délka je 545 mm a spodní hranice je 1150 mm nad zemí, takže na něj pohodlně dosáhne osoba na invalidním vozíku. Ovládací oblast je situována v ideální kontrolní a zobrazovací oblasti, resp. 1200-1480 mm vysoko. Ovládací tlačítka jsou na displeji situována ve spodní části a zobrazované informace v horní z důvodu zajištění dosahu osoby na invalidním vozíku otočeného k tiskárně bokem. Maximální boční dosah vozíčkáře je dle norem 1370 mm. Úhel hlavy stojícího uživatele se pohybuje při ovládání displeje okolo 35 ° pod horizontem.



Obr. 6-8 Ergonomie průhledového displeje

---

### 6.2.2 Ovládací tlačítka

Díky dotykovému displeji není nutné tiskárnu osazovat velkým počtem manuálních ovládacích prvků, které by mohly čistý a jednoduchý design narušit. Ovládací knoflíky jsou v levé části tiskárny ve výšce 1100 mm a jsou v dosahu lehce spuštěné paže. Tlačítka jsou dostatečně velká, mají vyboulený tvar. Piktogramy jsou do tlačítek vyraženy a podsvíceny pro dobrou rozpoznatelnost z dálky.

---

### 6.2.3 Demontáž vytištěného modelu

Po ukončení nebo přerušení tisku může uživatel otevřít ochranný kryt a vyjmout model pomocí uvolnění upevňovací páky na horní straně nosníku. Celá nosná konstrukce s podkladovou deskou vyjede až do horní krajní polohy, kde je možné desku uvolnit. V této poloze je uvolňovací páka ve výšce 1740 mm. Nad ní je ještě 100 mm prostoru pro pohodlné uchopení páky. Pro snadnou manipulaci je na podkladovou desku připevněno madlo. Princip uvolnění podkladové desky spočívá v přidržení desky pomocí madla jednou rukou a otočením páky směrem k sobě druhou rukou. Poté je možné uchopit desku oběma rukama a vyjmout z prostoru tiskárny. Připevnění desky zpět na nosník probíhá stejně, snadnější manipulaci zajišťují dvě do sebe zapadající části upevňovací konzole, které zároveň vymezují správnou pozici desky.



Obr. 6-9 Ukázka uvolnění podkladové desky

#### 6.2.4 Servisní přístupy

6.2.4

Pro doplnění, výměnu materiálu nebo kontrolu polohovací soustavy lze otevřít boční servisní dvířka. Ty se vysouvají o 500 mm do strany a poskytují tak dostatečný prostor pro manipulaci uvnitř. Víko zásobníku polymeru je ve výšce 900 mm, tedy na spodní hranici dvířek. Nad zásobníkem se nachází příruba na krokový motor a elektrické čerpadlo. Nad nimi jsou vodící osy a kuličkový šroub s maticí a vozíkem. Při otevřených dvířkách je možné se na součásti přímo podívat a zkontrolovat jejich technický stav, dále je možné odšroubovat víko zásobníku a doplnit materiál k dalšímu tisku.

K elektrotechnickým součástkám ukrytým za předním krytem se uživatel dostane skrze otevření šuplíku. Všechny součástky jsou uloženy na podestě, uchycené k rámu šuplíku. Výška podesty je 675 mm, při obsluze těchto elektrotechnických součástek je nutné se mírně sehnout nebo kleknout. Při otevřeném šuplíku je možné se dostat i ke krytu průhledového displeje, který se nachází v horní části otvoru.

## 7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

Při navrhování barevného řešení je nutné respektovat možnosti použitých materiálů a jejich vlastnosti a současně je nutné dbát na funkci, která může být nevhodným materiálem či barvou narušena. Zároveň je vhodné respektovat barevné zákonitosti a jejich psychologický vliv na člověka. [38]

### 7.1 Barevné řešení produktu

Barevnost finální varianty produktu je volena s ohledem na použití oranžového PMMA krytu, který tvoří velký dominantní prvek tiskárny. Proto jsou k němu doplněny neutrální světlé barvy polykarbonátových ploch krytování. Čistý design podtrhuje tmavý kartáčovaný hliníkový plech, který celou tiskárnu obepíná kolem dokola. Tlačítka jsou od zbytku světlé přední plochy odlišena také černou barvou a jsou olemována rámečkem v oranžové barvě doplňující barevnost krytu. Barevnost 3D tiskárny může být uzpůsobena do firemního Brandu a vnější materiály je možné obarvit libovolně. Stejně tak je možné použít i jiné barvy ochranného krytu, když bude zajištěna vlastnost filtrace UV záření z okolního prostředí. Na obrázku níže je několik barevných variant včetně vlastního návrhu. Vnitřní části zařízení jsou převážně vyrobeny z plastového materiálu s matnou povrchovou úpravou a tmavou barvou z důvodu pohlcení co nejvíce odraženého světla a zamezení nevhodných odrazů světelného zdroje, který by mohl samovolně osvětlit UV polymer a vytvrdit jej. Při dodržení toho pravidla je možné použít i jiné odstíny tmavých barev pro dokreslení firemního trendu společnosti, která by si stereolitografickou tiskárnu koupila. Pohyblivé kovové součásti, například broušený kuličkový šroub nebo vodící osy, nemají žádnou povrchovou nebo barevnou úpravu, aby byla zajištěna jejich správná funkčnost.



Obr. 7-1 Alternativní barevné varianty produktu.

## 7.2 Grafické řešení

Pro doplnění barevného řešení a pro úspěšné zařazení produktu na trh je pro 3D tiskárnu vytvořeno specifické logo, které popisuje její funkci a celkový design. Logo znázorňuje trojrozměrný objekt – krychli bez horního dna a značí tak probíhající proces tisknutí objektu. Logo je na předním krytu šuplíku vylaserováno a má lesklou povrchovou úpravu. Oproti zbytku krytu, který je matný a drsný, se logo třpytí a je dobře viditelné i z dálky. Navíc je materiál na druhé straně krytu v místě znaku vybrán a osazen difuzním světlem, které znak prosvětluje v zapnutém stavu zařízení. Barva světla má teplý nádech do oranžova a doplňuje volené barvy designu.



Obr. 7-2 Návrh logotypu

### 7.2.1 Piktogramy manuálních tlačítek

Funkci manuálních ovladačů, které se nacházejí vlevo od ochranného krytu, popisují jednoduše navržené piktogramy. Protože jsou piktogramy vyraženy do materiálu, měly by být pohodlně viditelné a čitelné pro každého. Piktogram největšího tlačítka je dobře známý symbol, který je mezinárodně uznávaným znakem pro zapínání a vypínání elektronických obvodů, strojů nebo zařízení. Druhý znak se nachází na knoflíku ochranného krytu. Piktogram znázorňuje pootevřené dveře a při zmáčknutí tlačítka se ochranný kryt odemkne a lehce pootevře, aby uživateli napověděl, že ho může bezpečně otevřít a pracovat uvnitř. Poslední piktogram představuje francouzský klíč, které reprezentuje význam opravy, servisu, nebo technický přístup obsluhy do vnitřních částí. Tlačítko slouží k otevření servisních dvířek po stranách stroje anebo předního šuplíku. Pro výběr mezi těmito možnostmi slouží nabídka, která se po stisknutí objeví na displeji krytu. Po potvrzení výběru se opět odemkne elektronický zámek a vybrané otvory se lehce pootevřou.



Obr. 7-3 Vysvětlení piktogramů na manuálních ovladačích

---

### 7.2.2 Grafika průhledového displeje.

Komplexní zpracování celého ovládacího systému by svým rozsahem v oblasti ergonomie a grafiky mohlo být námětem na další diplomovou práci. Proto je zde systém navržen jen ilustrativně v několika základních situacích. Barevné řešení a rozložení displeje respektuje možnosti Head-Up displeje. Zároveň je třeba navrhnout jej tak, aby byl dobře čitelný a intuitivní pro uživatele, což zajišťuje promítání rozhraní v černobílém kontrastu. Aby byla tiskárna lépe přijatelná pro celosvětový trh, měl by být systém proveden v základních jazykových verzích. V diplomové práci jsou ilustrace v anglickém jazyce, v popisku jsou však přeloženy do českého jazyka.

#### **Základní menu**

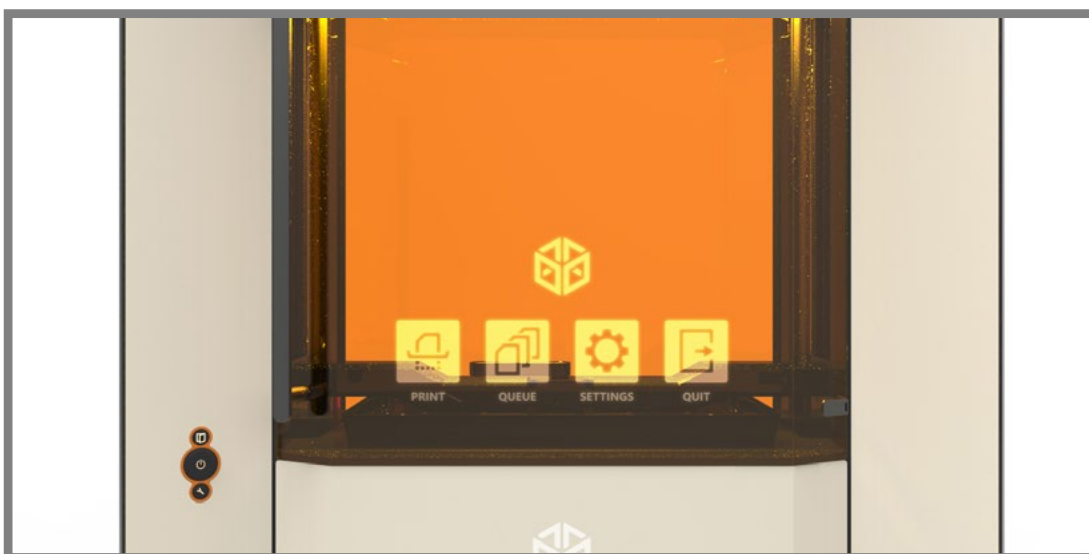
První obrazovka, se kterou se obsluha setká po zapnutí tiskárny, je hlavní menu. Zde si může uživatel vybrat ze čtyř možných ikon – PRINT (tisk), QUEUE (řada), SETTINGS (nastavení) a QUIT (odejít). Po výběru jednotlivých ikon se na obrazovce objeví další kontextová menu.

Po stisknutí ikony tisku (PRINT) musí uživatel vybrat 3D soubor z vnitřního paměťového zařízení, který byl nahrán skrze Wi-Fi připojení. Po výběru souboru přejde tiskárna do režimu tisku.

Další možností v hlavním menu je nastavení řady 3D souborů (QUEUE). Tato možnost se využívá k urychlení výrobního procesu, kdy je potřeba tisknout více částí po sobě. Po ukončení každého tisku je nutné vytáhnout hotový výrobek z tiskárny a odstranit ho z podkladové desky. Poté ji očistit a následně vrátit zpět do zařízení, aby mohla tiskárna přejít k tisku dalšího souboru. Pro ještě větší urychlení je možné po vytáhnutí podkladové desky použít druhou, náhradní desku.

Třetí ikona zavede obsluhu do nastavení zařízení (SETTINGS). Zde je možnost si nastavit tiskárnu podle potřeb uživatele nebo více uživatelů. Možnosti nastavení jsou velmi rozsáhlé, pro příklad je to nastavení jazyku, vzdálený přístup z počítače, hranice osvětlení displeje, nastavení hladiny osvětlení uvnitř tiskárny a jiné.

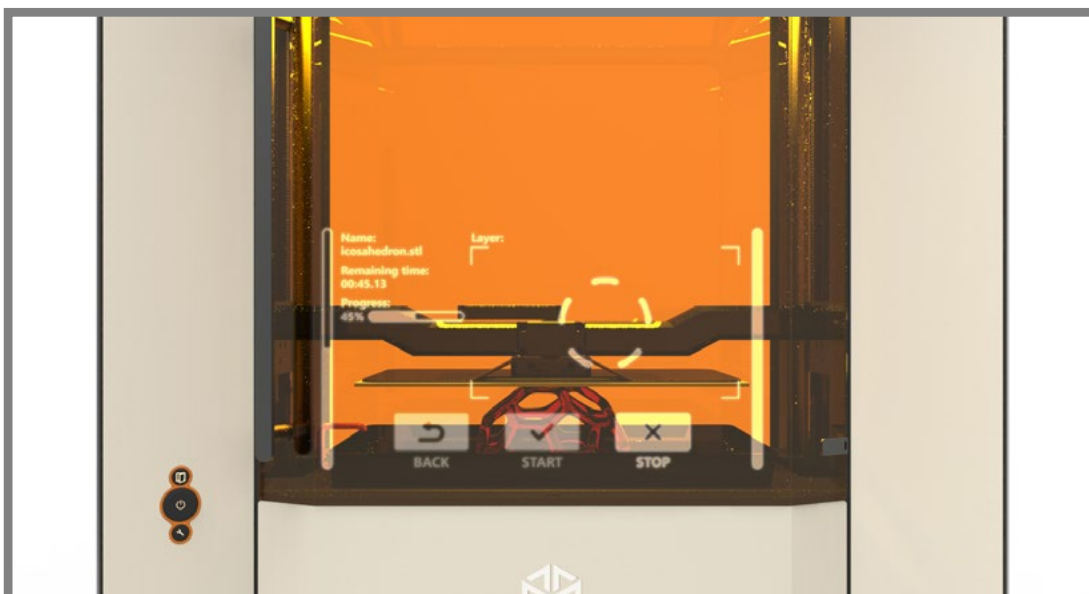
Poslední možností v hlavním menu je ukončení provozu tiskárny (QUIT). Při kliknutí se na displeji objeví žádost o potvrzení operace. Opětovné zapnutí zařízení je možné po stlačení hlavního ovládacího tlačítka ON/OFF vlevo od displeje.



Obr. 7-4 Hlavní nabídka displeje, zleva - tisk, řada, nastavení, odejít.

### Obrazovka během tiskového procesu.

Po výběru souboru určeného k tisku se zařízení přepne do pracovního režimu, kdy se na obrazovce objeví důležité informace o souboru, například název, přibližný čas do dokončení operace, procentuální ukazatel procesu, aktuálně tištěný průřez (vrstva) modelu a tlačítka. V nabídce jsou tři tlačítka – možnost přejít zpět do hlavního menu, například při výběru špatného souboru, zahájení tisku a přerušení tisku. Před zahájením je poslední tlačítko přerušení tmavší a nelze jej vybrat, protože tisk ještě nezačal. Po zahájení tlačítko zesvětlá a zbylá dvě ztmavnou, aby uživatel na první pohled viděl, jaké má možnosti výběru. Po obou stranách displeje jsou umístěny stavové ukazatele materiálu zbývajícího v zásobníku.



Obr. 7-5 Grafické rozhraní při procesu tisku.



### **Ukončení a přerušení tisku**

V případě, že se model netiskne z nějakého důvodu správně, má uživatel možnost tisk ukončit nebo jej přerušit do doby, než se problém vyřeší. V této situaci se na displeji objeví potvrzovací hláška. Potvrzení je důležité k ověření, jestli se uživatel nezmýlil a nestlačil tlačítko přerušení náhodou. Při ukončení procesu se celá nosná konstrukce s podkladovou deskou vysune do horní pozice. Při přerušení se proces zastaví a tiskárna dále čeká na pokyny.

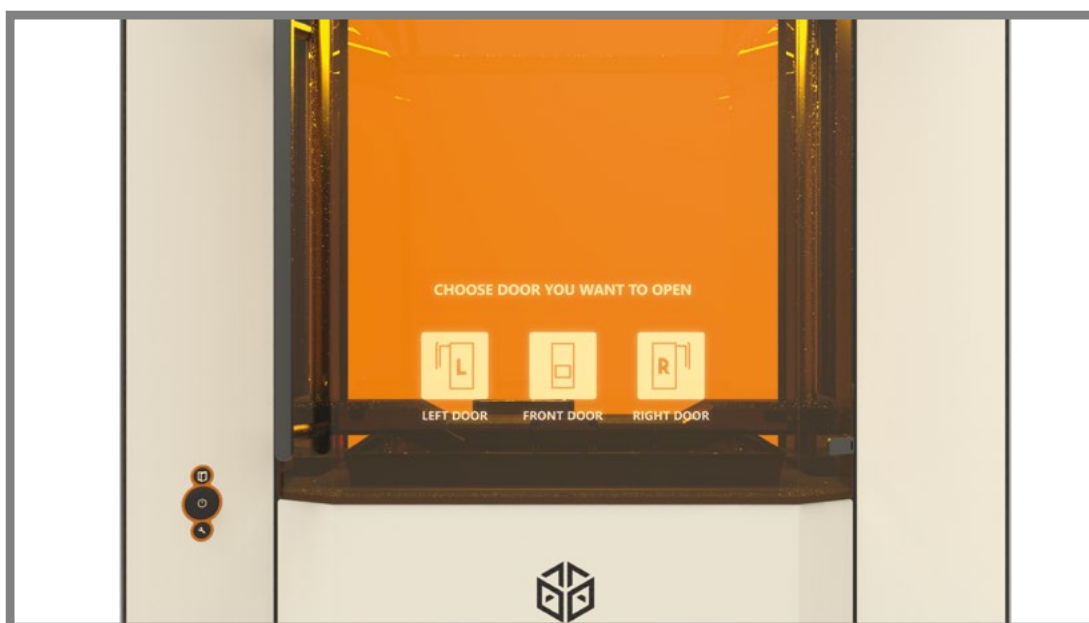


**Obr. 7-6** Zobrazení hlášky o ukončení tisku na displeji.

### **Kooperace displeje a manuálních ovladačů**

V některých situacích je třeba ovládat zároveň manuální tlačítka a dotykový displej. Tou nejčastější situací je otevírání bočních servisních dveří za účelem doplnění materiálu do zásobníku. K tomu je potřeba nejprve zmáčknout dolní tlačítko s ikonou servisního klíče. Poté na dotykovém displeji vybrat, které servisní dveře chce uživatel otevřít a výběr potvrdit. Další situací může být vypnutí celé 3D tiskárny pomocí hlavního vypínače. Pro zamezení nechtěného stlačení je nutné volbu opět potvrdit na displeji. Při otevírání hlavního krytu je naopak nutné, aby se průhledový displej vypnul a nesvítil naprázdno. Proto je k otevření dveří ochranného krytu zapotřebí zmáčknout manuální tlačítko. Tiskárna dostane pokyn k otevření a ukončí procesy, které by se mohly otevřením narušit. Poté se na displeji objeví hláška s ujištěním bezpečného otevření krytu. V zámku krytu je kontaktní čidlo, které po přerušení obvodu vypne průhledový displej, při zavření krytu se obvod opět spojí a průhledový displej se znovu zapne.





**Obr. 7-7** Výběr otevíraných dveří tiskárny.

## 8 DISKUZE

### 8.1 Psychologická studie

Z psychologického hlediska je pro design stroje důležité, aby svým tvarem nebo barevností záporně nepůsobil na psychiku člověka, jenž jej bude ovládat. Naopak zajímavým zpracováním může produkt motivovat uživatele k opětovnému používání a k radosti z tvoření, které 3D tisk nabízí.

#### 8.1.1 Celkový pohled

Při prvním pohledu působí návrh skromně až jednoduše. Tvarem stroj připomíná moderní skříň, která je tvarována minimalisticky, futuristicky a elegantně. Velký průhledný kryt odhaluje velkou část vnitřního pracovního prostoru a nabízí pohodlné sledování vytváření 3D modelu. Díky tomu tiskárna působí dynamicky a vtahuje diváka do procesu stereolitografie. Použití průhledového displeje a tvar manuálních tlačítek dodává návrhu futuristický vzhled.

#### 8.1.2 Působení barev a materiálů

Při výběru barevného návrhu zařízení je třeba zohlednit několik faktorů. Prvním z nich je působení jednotlivých barev na psychiku člověka. Proto je návrh laděn do nevýrazných odstínů bílé a šedé s výjimkou zvýraznění důležitých částí, s nimiž se manipuluje. Druhým faktorem je samozřejmě přání investora, který si chce stroj pořídit. Pro prezentační potřeby může být celý koncept laděn do korporátních barev, ale vždy by mělo být zohledněn právě vliv na člověka, který ho bude v konečném důsledku obsluhovat.

### 8.2 Marketingová studie

V oblasti Rapid Prototypingu se objevuje velké množství firem, které se specializují na různé druhy 3D technologií a tvoří pro návrh 3D tiskárny konkurenci. Firmy, které se zaměřují na stereolitografický tisk modelů, jsou například FormLabs nebo 3D Systems. Na trhu se objevuje také otevřená, tzv. open-source tiskárna od Autodesku – Ember. Open-source systémy jsou svým přístupem nejrychleji rozvíjející se projekty, protože je může upravovat a vylepšovat každý znalý člověk v oboru. Navíc si je lidé mohou postavit doma na vlastní náklady díky přístupu k technické dokumentaci. Využití stereolitografických tiskáren je především u společností s oddělením vývoje zaměřujících se na výzkum a návrh nových produktů nebo součástí, například v automobilovém, lékařském či leteckém průmyslu. Dále se 3D tisk využívá k výrobě prototypů, k ověření jejich povrchových vlastností či vzhledu, nebo k výrobě velmi komplikovaných součástí, které jsou běžnými obráběcími metodami drahé nebo zcela nevyrobitelné.[39, 40, 41]

#### 8.2.1 Analýza trhů

Trhová analýza je jedním z mnoha nástrojů, jejíž pomocí poznáváme potřeby zákazníka. Zaměřením se na tyto potřeby a jejich zohledněním můžeme zvýšit poptávku po produktu, jeho konkurence schopnost a prodej. Trh produktů ovlivňuje mnoho různých faktorů makroprostředí a mikroprostředí.

## **Makroprostředí**

Jedná se o mezinárodní a regionální prostředí, které na firmu přímo působí, ale dá se ovlivnit jen velmi málo nebo vůbec.“) Makroprostředí se dělí na 4 skupiny – sociální, technické, ekonomické a politické a právní prostředí (STEP).

## **Sociální prostředí**

Sociální prostředí se odvíjí od životní úrovně obyvatel, jejich vzdělání či výše příjmů. Obsluha tiskárny není nijak fyzicky náročná nebo složitá, avšak vyžaduje znalosti konstrukce stroje. Rovněž je nutné disponovat určitým vzděláním v tvorbě 3D modelů a jejich přípravě k tisku ve speciálních modelovacích softwarech. V případě pořízení stroje, ať už pro osobní nebo firemní potřeby, je nutné počítat s finančními prostředky na provoz zařízení a koupi vhodného materiálu.

## **Technické prostředí**

Jedná se o prostředí s největším vlivem na konkurenceschopnost výrobku na trhu. Technické zpracování a kvalita výrobku se přímo odráží v odlišení od konkurence. Firmy musí investovat nemalé prostředky na vývoj nejmodernějších technologií, které jim umožní dosáhnout kvalitního provozu a zvýší tak jejich kladné jméno ve společnosti a tím i poptávku.

## **Ekonomické prostředí**

Na podnik působí mnoho ekonomických faktorů, například Hrubý domácí produkt, množství peněz v oběhu společnosti, inflace, výše investic, nezaměstnanost a další, které je potřeba zohlednit při vývoji nového produktu. V současné situaci je evropská ekonomika na vzestupu, což by mělo mít příznivé dopady na prodej.

## **Politické a právní prostředí**

Toto prostředí je řízeno právními předpisy, zákony a normami. Jeden z předních faktorů je především bezpečnost provozu 3D tiskárny a ergonomie, která je v návrhu zohledněna.

## **Mikroprostředí**

Mezi hlavní faktory mikroprostředí patří samotný podnik, konkurence, dodavatelé, zákazník/spotřebitel a distribuce výroby. Toto prostředí lze ovlivnit a má na firmu bezprostřední vliv. Mikroprostředí je možné analyzovat pomocí Porterovy analýzy trhu, která zohledňuje konkurenci, potenciální konkurenci, substituční výrobky, dodavatele a zákazníky.[40, 41]

## **Konkurence**

V oblasti stereolitografického tisku je mnoho podniků, které si vzájemně konkurují a ovlivňují jeho technologický vývoj. Nejrozšířenější firmou na trhu je v současné době FormLabs, která se zaměřuje na jednotlivce či velmi malé provozy. V této oblasti stolních a malých 3D tiskáren je konkurence největší. V oblasti průmyslového využití a velkoobjemového tisku konkurence klesá především díky technologické náročnosti a nákladnému vývoji, který si mohou dovolit jen velké firmy, například 3D Systems nebo Carbon. Velkoformátový tisk je realizován především na zakázku kompletací malých fungujících systémů dohromady.

**Potencionální konkurence**

Vzhledem k rychlému vývoji technologií a publikování open-source projektů se dá očekávat velký nárůst společností, které se budou zabývat Rapid prototypingem a vývojem nových principů, technologií nebo materiálu, který je použit k tisku. Dalším faktorem je neustále snižování ceny 3D tisku, který je dostupnější stále širšímu okruhu zákazníků, což přímo souvisí se zvyšováním poptávky a výší investic v daném oboru.

**Substituční výroby**

Podobných produktů zaměřujících se na Rapid prototyping je na trhu mnoho. Tyto produkty využívají velmi podobnou technologii tisku jako stereolitografie avšak liší se v ceně provozu, použitým materiálem, technickým zpracováním nebo kvalitou tištěného modelu. Mezi substituční výroby patří především tiskárny SLS (Selective Laser Sintering), které mají technologicky k stereolitografii nejbližší. Dále jsou to tiskárny FDM (Fused Depositing Modeling), které se vyznačují velmi levným provozem, materiálem avšak méně kvalitním tiskem modelů.

**Dodavatelé**

Stereolitografická tiskárna je produkt složený z mnoha elektrotechnických a strojních součástí, které podléhají vysokým nárokům na kvalitu. Díky tomu lze zcela vyloučit samostatnost výroby jedinou firmou. Při výrobě je nutné spolupracovat s mnoha podniky a komunikace mezi nimi hraje důležitou roli. Nastavené podmínky spolupráce se mohou přímo projevit v ceně výrobku.

**Zákazníci a spotřebitelé**

Nejdůležitější faktor trhu je zákazník. Analýzou potřeb a přání zákazníka lze rapidně zvýšit prodejnost a konkurenceschopnost výrobku na trhu. Důležitými faktory jsou požadavky zákazníka, který s produktem pracuje téměř každý den a vyžaduje od výrobku především bezpečný a pohodlný provoz.

---

**8.2.2 Analýza a výběr cílových trhů****Segmentace trhu**

Segmentace slouží k poznání struktury trhu a ke snadnějšímu přizpůsobení jednotlivým skupinám zákazníků. [39]

**Geografická segmentace**

Největší poptávku vytváří evropský, severoamerický a asijský trh. V popředí jsou samozřejmě nejvyspělejší státy světa.

**Demografická segmentace**

O produkty se zajímají především větší firmy, které investují peníze do vývoje i výroby prototypů. Produktové portfolio některých společností však nabízí možnosti jak pro jednotlivce nebo malovýrobce, tak pro velké firmy.

Dá se předpokládat, že ke své práci 3D tiskárnu potřebují spíše kreativní lidé ve věku od 25 do 40 let neohledně na pohlaví. Ti tvoří primární skupinu, která s přístrojem bude pracovat téměř každý den a ocení tak celkové zpracování. Nicméně výběr produktu ve firmě záleží i na schválení vedením, které považují za sekundární skupinu. Zde se může věková kategorie pohybovat od 35 do 55 let.

### **Segmentace dle chování, psychografická segmentace**

Vzhledem k cenové náročnosti stroje se dá předpokládat, že mezi výrobní společností a zákazníkem vznikne dlouhodobější spolupráce především v oblasti podpory, servisu a instalace zařízení. Celkové zpracování a správný přístup k zákazníkovi může ovlivnit věrnost zákazníka jak k firmě, tak ke stroji, případně může vyústit v další investice.

### **Výběr cílového trhu**

Nejvýhodnější variantou je zaměřit se na vyspělé státy západní Evropy, USA a východní část Asie, konkrétně na firmy s vlastním výzkumem a vývojem nových produktů a projektů.

## **8.2.3 Marketingová strategie**

8.2.3

### **Výrobní strategie**

Současné sterolitografické tiskárny vychází ze stejné koncepce, která se odráží ve výsledném designu a zpracování. Základem je tělo tiskárny, které se nachází vždy ve spodní části stroje, ochranný kryt a ovládací panel. Změna této koncepce může být pro výsledný design jak přínosem, tak i důvodem neúspěšného uvedení na trh, a proto je důležité celkový vzhled navrhovat citlivě.

### **Cenová úroveň**

Cenová relace produktu se pohybuje od desítek po stovky tisíc korun. K tomu je potřeba započítat i cenu a množství materiálu, který souvisí s provozem. Cena výrobku musí odrážet jeho přednosti, inovace, ale také design. V oblasti stereolitografických tiskáren pro průmyslovou výrobu se současné produkty pohybují v cenové relaci od 20 000 \$ do 100 000 \$.

### **Distribuce**

Logistika v této oblasti není tolik důležitým aspektem vzhledem k relativně snadnému převážení stroje automobilovou, železniční, lodní i leteckou dopravou. Servis a podpora výrobku je realizována návštěvou technika přímo ve firmě, ve které je stroj provozován, a většinou není potřeba převážet stroj zpět k výrobcí.

### **Podpora prodeje**

Při zavádění nového výrobku na trh je důležité podpořit jej mediální kampaní. Protože se však jedná o specializovaný stroj, nedá se použít masová reklama. Ideální je použít reklamu v odborných časopisech, pomocí webových stránek výrobce či partnerů nebo reklamou v kamenné prodejně. Zvýšit prodej výrobku lze například také pomocí věrnostního programu, ve kterém výrobce poskytne slevu třeba na materiál potřebný k tisku. Podpoří si tak svůj prodej materiálu a zákazník bude mít jistotu, že pro svůj výrobek používá kompatibilní příslušenství. Další možností je prezentace firmy a výrobku na specializovaných veletrzích, například veletrh 3D Print Expo, Inside 3D Printing a dalších.

## **8.2.4 SWOT analýza**

8.2.4

SWOT analýza je univerzální marketignový nástroj k určení vnitřních a vnějších faktorů, které mohou úspěšnost výrobku ovlivnit pozitivním nebo naopak negativním způsobem. [42]

#### **Silné stránky (Strenghts)**

- Recyklace tisknutého materiálu
- Snížení provozních nákladů
- Využití v běžném výrobním provozu
- Možnost částečného bezbariérového ovládání tiskárny

#### **Slabé stránky (Weaknesses)**

- Vyšší náklady oproti FDM 3D tisku
- Vysoké nároky na technické zpracování
- Přílišná inovace výrobku

#### **Příležitosti (Opportunities)**

- Větší pracovní plocha díky využití nejmodernějších technologií
- Nový směr vnějšího estetického zpracování
- Zrychlení procesu výroby v kombinaci s jinými CNC stroji

#### **Hrozby (Threads)**

- Neatraktivní design pro cílovou skupinu
- Vysoká pořizovací cena
- Rychlá zastaralost vzhledem k rychlému vývoji nových technologií

---

### **8.3 Sociální studie**

Stereolitografická 3D tiskárna je komplexní elektronické zařízení, čemuž by měla odpovídat výsledná cena produktu. Ta hraje často rozhodující roli při jeho koupi, proto by návrh měl působit seriózně a hlavně spolehlivě. Stroj je možné využít v mnoha odvětvích průmyslu, kde je 3D tisk přední metodou výzkumu a vývoje nových technologií. Díky velkému pracovnímu prostoru by nemělo být problém využívat produkt například v automobilovém, leteckém, chemickém, medicínském nebo strojírenském průmyslu. Nakonec v závislosti na stále zvyšujícím se počtu obyvatel je potřeba zajistit dostatek surovin určených k seberealizaci pro zbytek populace a využití 3D tisku by mohlo hrát velkou roli ve zkvalitnění a zvýšení dostupnosti těchto surovin pro všechny.

## 9 ZÁVĚR

9

Diplomová práce se zabývá designem stereolitografické 3D tiskárny. V návaznosti na stále rostoucí zastoupení 3D tisku v průmyslové výrobě tvoří koncept futuristickou představu, jak by takové stroje mohly v budoucnu fungovat a vypadat s použitím moderních technologií a materiálů.

Pro správný vývoj bylo potřeba nejprve rozebrat stávající zástupce stereolitografie na trhu a pomocí kritické rešerše zhodnotit jejich současný stav, konstrukci, princip, přidanou hodnotu a v neposlední řadě také jejich design. Všechny tyto závislosti poskytly určující parametry pro vlastní návrh.

Při navrhování byl kladen důraz především na estetický výraz tiskárny a jeho odlišení od současných tiskáren na trhu. Výsledný design vznikl po zhodnocení tří variant, přičemž byl vybrán ten, jehož postupný vývoj se ukázal jako nejzajímavější. Následným vývojem se design dostal do konečné minimalistické formy, která respektuje konstrukci tiskárny, použití nových technologií, jejichž vývoj se teprve očekává nebo je jejich použití zatím jen v teoretické rovině (DLP projektor s rozlišením 8K).

Důležitou část návrhu tvořil také rozbor ergonomie, jež ovlivňuje práci člověka se strojem. Respektování ergonomických norem je důležité pro kvalitní plnění funkce a bezpečnost samotného uživatele. Nakonec byla v návrhu zohledněna i možnost ovládání pro osobu na invalidním vozíku.

V diplomové práci byl navržen grafický systém, jehož pomocí se celý koncept ovládá. Celkový rozsah grafického systému je však úrovní další diplomové práce, proto bylo zde rozhraní zpracováno ilustrativně pro dokreslení a podtržení futuristického designu.

V poslední řadě byl návrh rozebrán z hlediska psychologie, marketingu a sociálních aspektů, které pomáhají produkt uvést na trh.



---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] The Free Beginner's Guide: 02 – History of 3D Printing. 3dprintingindustry.com [online]. 3D Printing Industry, © 2017 [cit. 2017-10-05]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/>
- [2] A brief history of 3D printing. 3D-tisk.cz [online]. Baltimore: T. Rowe Price, © 2017 [cit. 2017-10-05]. Dostupné z: [https://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D\\_Printing\\_Infographic\\_FINAL.pdf](https://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf)
- [3] CHUA, Chee Kai., Kah Fai. LEONG a Chu Sing. LIM. Rapid prototyping: principles and applications. 2nd ed. New Jersey: World Scientific, c2003. ISBN 981-238-117-1.
- [4] You Can Now See the First Ever 3D Printer -- Invented by Chuck Hull -- In the National Inventors Hall of Fame. 3dprint.com [online]. 3DR Holdings, © 2017 [cit. 2017-10-06]. Dostupné z: <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>
- [5] Form 2. 3dprint.com [online]. Formlabs, © 2017 [cit. 2017-10-07]. Dostupné z: <https://formlabs.com/3d-printers/form-2/>
- [6] Formlabs Form 2. Pcmag.com [online]. ZiffDavis, © 2016 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <http://uk.pcmag.com/formlabs-form-2/76350/review/formlabs-form-2>
- [7] Monofab Arm3D printer. Rolanddg.com [online]. Roland DG Corporation © [cit. 2017-10-27]. Dostupné z: <http://www.rolanddg.com/en/products/lineup/monofab-arm-3d-printer>
- [8] Monofab ARM-10 stampante 3D additiva. Impresaitaly.com [online]. Vigonza [cit. 2017-10-27]. Dostupné z: <http://www.impresaitaly.com/prodotti/modellatori/monofab-arm-10/>
- [9] M1 Printer. Carbon3d.com [online]. Redwood City: Carbon 3D © 2011-2017 [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.carbon3d.com/>
- [10] Our process. Carbon3D.com [online]. Redwood City: Carbon 3D © 2011-2017 [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.carbon3d.com/clip-process>
- [11] Carbon releases the M1, first commercial CLIP based 3D printer. 3ders.org [online]. 3Ders.org © 2011-2017 [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <http://www.3ders.org/articles/20160401-carbon-releases-first-commercial-clip-based-3d-printer-the-m1.html>
- [12] ProJet 7000 HD: Highest part quality and accuracy, larger size. 3dsystems.com [online]. 3D Systems © 2017 [cit. 2017-10-29]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-7000-hd>
- [13] La strada verso la produzione di massa inizia dalla Projet 7000 e da 3DZ. 3dz.it [online]. Castelfranco Veneto: 3DZ Franchizing © 2017 [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: <https://www.3dz.it/news/strada-verso-produzione-massa-inizia-dalla-projet-7000-3dz/>
- [14] 3D Printing With Ember: Resolution, Accuracy, Precision and Reliability. Ember.autodesk.com [online]. San Rafael: Autodesk © 2017 [cit. 2017-11-03]. Dostupné z: <https://ember.autodesk.com/overview#features>
- [15] Tiskárnu Ember od Autodesku si můžete postavit či rozšířit sami. 3d-tisk.cz [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, © 2014 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/tiskarnu-ember-od-autodesku-si-muzete-postavit-ci-rozsirit-sami/>



- [16] 3D tisk. 3D-tisk.cz [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, © 2014 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/3d-tisk/>
- [17] Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method. Livescience.com [online]. Purch © 2017 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>
- [18] Fused Deposition Modeling. 3D-tisk.cz [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, © 2014 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>
- [19] FDM vs SLA. All3dp.com [online]. München: All3DP, ©2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://all3dp.com/fdm-vs-sla/>
- [20] Selective Laser Sintering. 3D-tisk.cz [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, ©2014 [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>
- [21] HANEMANN, T., W. BAUER, R. KNITTER a P. WOIAS. Rapid Prototyping and Rapid Tooling Techniques for the Manufacturing of Silicon, Polymer, Metal and Ceramic Microdevices. MEMS/NEMS [online]. Boston, MA: Springer US, 2006, s. 801 [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1007/0-387-25786-1\_20. ISBN 978-0-387-24520-1. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/0-387-25786-1\\_20](http://link.springer.com/10.1007/0-387-25786-1_20)
- [22] Stereolitografie. 3d-tisk.cz [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, ©2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>
- [23] VAT Photopolymerisation. Consult3D.com [online]. CONSULT3D, ©2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://consult3d.com/additive-manufacturing/technologies/vat-photopolymerisation/>
- [24] SLA 3D Printing: Difference in Laser and DLP Light Pattern Generation. Kudo3d.com [online]. Dublin: Kudo3D, ©2014-2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://www.kudo3d.com/sla-3d-printing-difference-in-laser-and-dlp-light-generation/>
- [25] The Ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing. Formlabs.com [online]. Formlabs, © 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
- [26] DLP9500UV. Ti.com [online]. Texas Instruments, ©1995-2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/DLP9500UV/datasheet/detailed-description#DLPS0257090>
- [27] À propos de la source de lumière. Tested.com [online]. M6 WEB, ©2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.clubic.com/article-271080-2-test-pico-projecteurs-optoma-3m-aiptek.html>
- [28] Bits to Atoms: How Carbon's CLIP 3D Printing Technology Works. Tested.com [online]. Hollywood: Web Property #5, © [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.tested.com/tech/3d-printing/570369-bits-atoms-how-carbons-clip-3d-printing-technology-works/>
- [29] Why Carbon's M1 3D Printer Subscription-Pricing Model Is a Brilliant Move. Fool.com [online]. The Motley Fool, ©1995-2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://www.fool.com/investing/general/2016/04/09/why-carbons-m1-3d-printer-subscription-pricing-mod.aspx>
- [30] Lineární vedení. Hiwin.cz [online]. Brno: Hiwin [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/download/katalogy>

- [31] Polohovací systémy: Lineární moduly KK. Hiwin.cz [online]. Brno: Hiwin [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/download/katalogy>
- [32] CRIVELLO, James V. a Elsa REICHMANIS. Photopolymer Materials and Processes for Advanced Technologies. Chemistry of Materials [online]. 2014, 26(1), 533-548 [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1021/cm402262g. ISSN 0897-4756. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cm402262g>
- [33] Carbon3D M1, Ultra Fast CLIP-based 3D Printer Officially Unveiled, Here Is What You Need to Know: INDUSTRY FIRST SUBSCRIPTION MODEL. 3dprintingbusiness.directory [online]. 3dprintingmedia.network, ©2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.3dprintingbusiness.directory/news/carbon3d-m1-unveiled-today-as-the-first-commercial-clip-based-3d-printer/>
- [34] PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [35] Software. 3dprintingbusiness.directory [online]. 3dprintingmedia.network, ©2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.3dprintingbusiness.directory/news/carbon3d-m1-unveiled-today-as-the-first-commercial-clip-based-3d-printer/software/>
- [36] RUBÍNOVÁ, D. *Ergonomie*. 1. vydání. CERM, s.r.o., 2006. 62 s. ISBN: 80-214-3313-2
- [37] TILLEY, Alvin R. The Measure of man and woman: human factors in design. New York: Whitney Library of Design, 1993. ISBN 0-8230-3031-8.
- [38] CHIJIIWA, H. *Color Harmony: A Guide to Creative Color Combinations*, Rockport Publishers, 1987 160 s., ISBN 0-935603-06-9.
- [39] Segmentácia trhu. Managementmania.com [online]. Slovensko: ManagementMania.com, ©2011-2016 [cit. 2016-09-25]. Dostupné z: <https://managementmania.com/sk/segmentacia-trhu>
- [40] POŠVÁŘ, Zdeněk a Helena CHLÁDKOVÁ. Management. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. 261 s. ISBN 978-80-7375-347-4.
- [41] Analýza 5F (Five Forces). Managementmania.com [online]. Slovensko: ManagementMania.com, ©2011-2016 [cit. 2016-09-25]. Dostupné z: <https://managementmania.com/sk/analyza-5f-five-forces>
- [42] SWOT analýza. Managementmania.com [online]. ManagementMania.com, © 2011-2016 [cit. 2016-09-25]. Dostupné z: <https://managementmania.com/sk/swot-analyza>

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

## Obr. Obsah

<b>Obr. 2-1</b> SLA-1 - první stereolitografická 3D tiskárna [4]	14
<b>Obr. 2-2</b> 3D tiskárna Form 2 [6]	15
<b>Obr. 2-3</b> MonoFab ARM 10 [8]	16
<b>Obr. 2-4</b> Carbon M1 [11]	17
<b>Obr. 2-5</b> Projet 7000 HD [13]	18
<b>Obr. 2-6</b> Autodesk Ember [15]	19
<b>Obr. 2-7</b> Porovnání kvality jednotlivých metod 3D tisku [25]	20
<b>Obr. 2-8</b> DLP čip s mikrozrcadly [27]	21
<b>Obr. 2-9</b> Schématický princip s laserovým světelným zdrojem [22 - upraveno]	22
<b>Obr. 2-10</b> Schématický princip CLIP s DLP projektorem [29 - upraveno]	22
<b>Obr. 2-11</b> Schéma lineární polohovací jednotky [31]	24
<b>Obr. 2-12</b> Recyklace nepoužitého materiálu z nádoby [33]	25
<b>Obr. 2-13</b> 3D model v 3D softwaru [35]	26
<b>Obr. 4-1</b> Skici	28
<b>Obr. 4-2</b> Varianta I.	29
<b>Obr. 4-3</b> Varianta II	30
<b>Obr. 4-4</b> Varianta III	31
<b>Obr. 5-1</b> Perspektivní pohled na tiskárnu.	32
<b>Obr. 5-2</b> Pohled na servisní dvířka v otevřené poloze.	33
<b>Obr. 5-3</b> Otevřený šuplík s elektronikou	34
<b>Obr. 6-1</b> Rozměry tiskárny	35
<b>Obr. 6-2</b> Vnitřní uspořádání součástí	36
<b>Obr. 6-3</b> Rámová konstrukce stroje	37
<b>Obr. 6-4</b> Pohled na DLP projektor, základní desku a další komponenty.	38
<b>Obr. 6-5</b> Rozložený polohovací systém a uchopovací mechanismus podkladové desky, 1 - matice kuličkového šroubu, 2 - vozík, 3 - nosník, 4 - kulová hlava, 5 - upevňovací mechanismus, 6 - podkladová deska, 7 - protikus držáku kulové hlavy, 8 - uvolňovací madlo.	39
<b>Obr. 6-6</b> Tlačítka a displej	40
<b>Obr. 6-7</b> Pohled na zásobník a čerpadlo	41
<b>Obr. 6-8</b> Ergonomie průhledového displeje	42
<b>Obr. 6-9</b> Ukázka uvolnění podkladové desky	43
<b>Obr. 7-1</b> Alternativní barevné varianty produktu.	44
<b>Obr. 7-2</b> Návrh logotypu	45
<b>Obr. 7-3</b> Vysvětlení piktogramů na manuálních ovladačích	45
<b>Obr. 7-4</b> Hlavní nabídka displeje, zleva - tisk, řada, nastavení, odejít.	47
<b>Obr. 7-5</b> Grafické rozhraní při procesu tisku.	47
<b>Obr. 7-6</b> Zobrazení hlášky o ukončení tisku na displeji.	48
<b>Obr. 7-7</b> Výběr otevíraných dveří tiskárny.	49

---

## SEZNAM PŘÍLOH

zmenšený sumarizační plakát (A4)  
zmenšený technický plakát (A4)  
zmenšený designerský plakát (A4)  
zmenšený ergonomický plakát (A4)  
fotografie modelu (A4)  
4× plakát A1  
portfolio A4  
model (M 1:5)

## FOTOGRAFIE MODELU



## NÁVRH SUMARIZAČNÍHO POSTERU

### DESIGN STEREOLITOGRAFICKÉ 3D TISKÁRNY Sumarizační plakát

Pracovní objem 280×500×500 mm

Průhledový dotykový displej

DLP projektor s rozlišením 8K

**Design stereolitografické 3D tiskárny**  
Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Morbi imperdiet mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus. Duis risus. Etiam commodo dui eget wisi. Donec iaculis gravida nulla. Morbi scelerisque luctus velit. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. Suspendisse nisl. Nullam justo enim, consectetur nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. In rutrum.

Technical drawing of the 3D printer showing front and side views with dimensions. The front view shows a width of 1050 mm and a height of 2000 mm. The side view shows a depth of 576 mm and a height of 2000 mm. The front view also shows a width of 715 mm and a height of 720 mm. The side view also shows a height of 1100 mm.

**T** VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA  
TECHNICKÉ STROJNÍHO  
V BRNĚ INŽENÝRSTVÍ

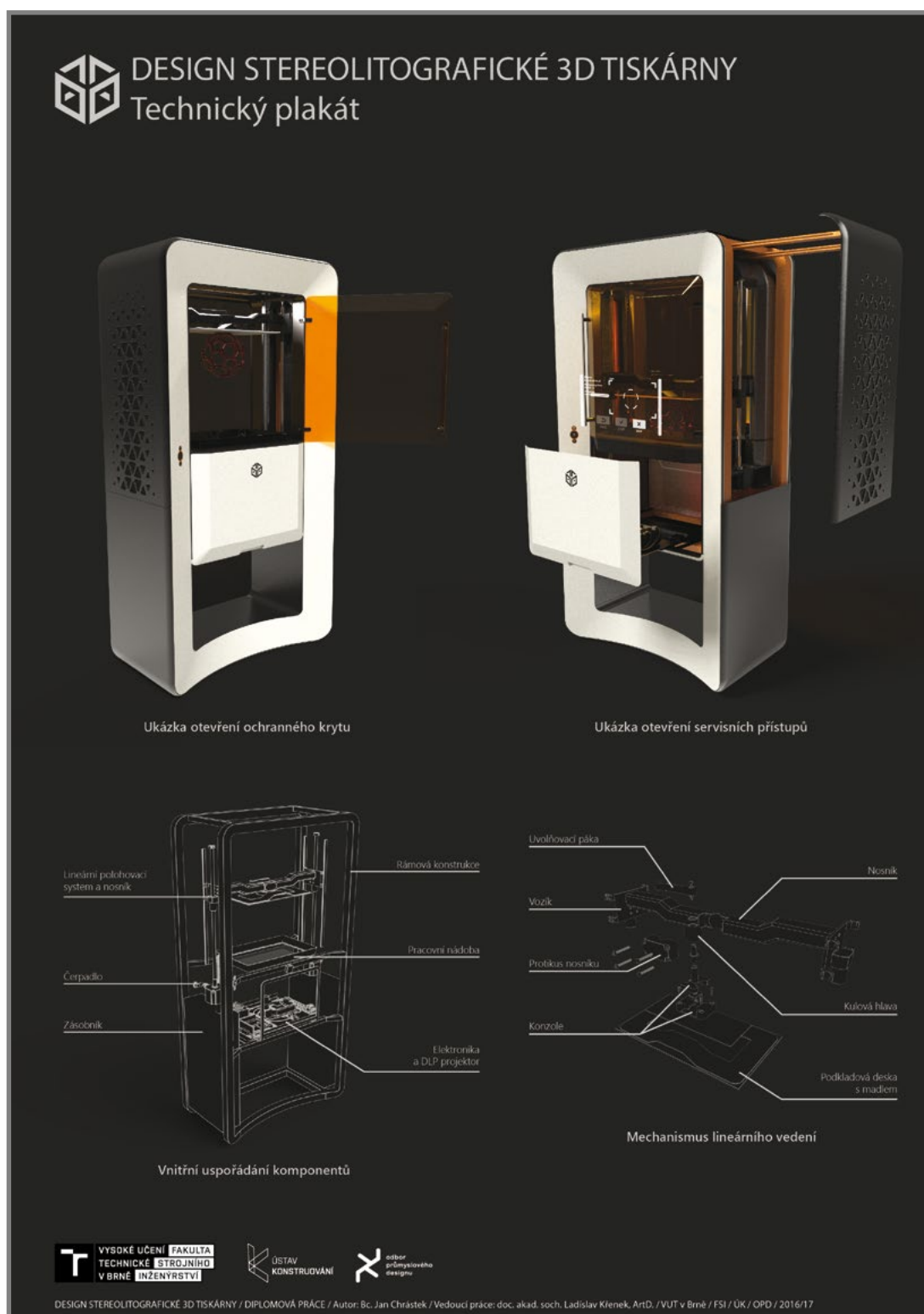
**K** ÚSTAV  
KONSTRUKOVÁNÍ

**X** autor  
projektového  
designu

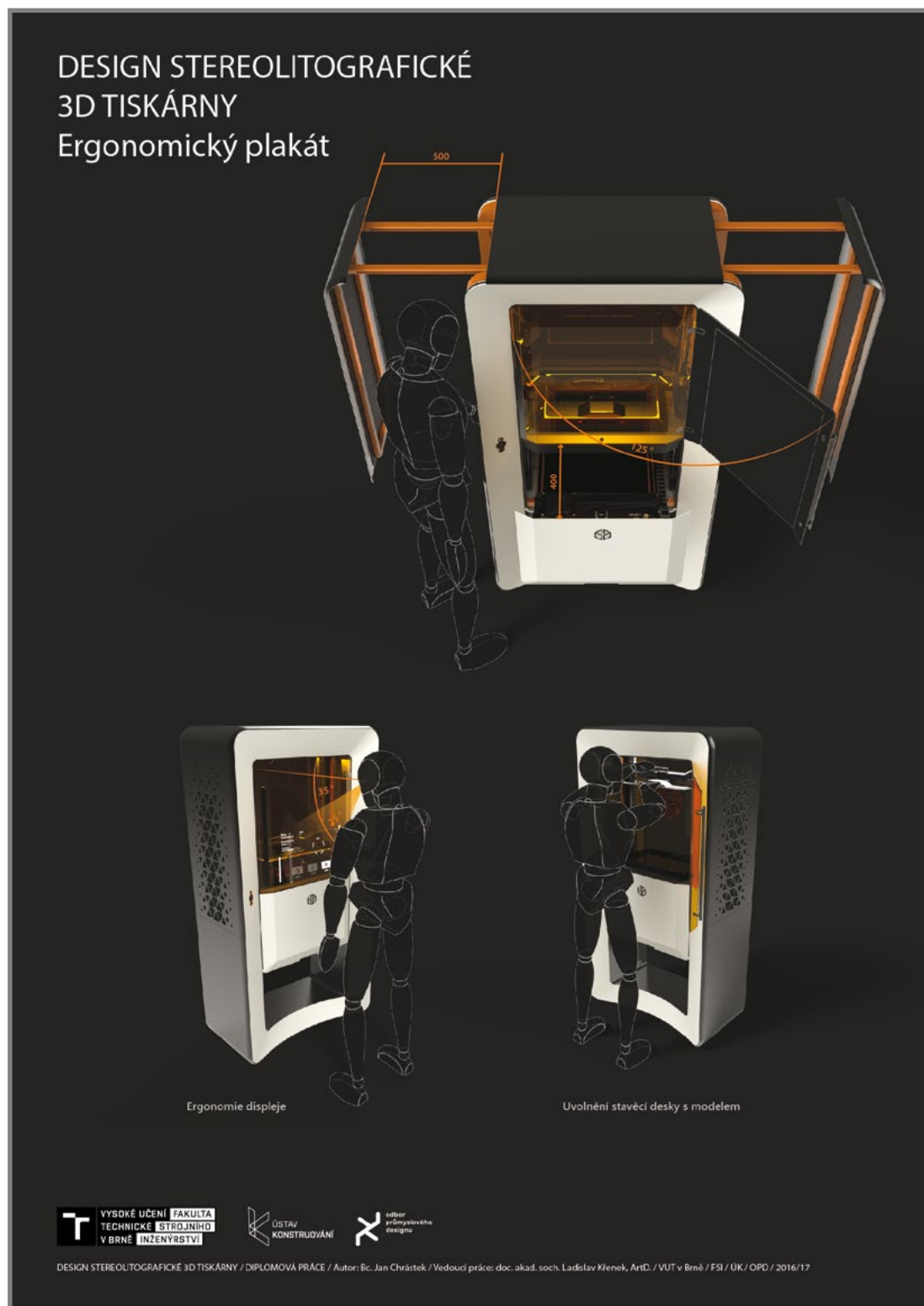
DESIGN STEREOLITOGRAFICKÉ 3D TISKÁRNY / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Jan Chrástek / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2016/17



# NÁVRH TECHNICKÉHO POSTERU



## NÁVRH ERGONOMICKÉHO POSTERU





\_\_\_\_\_